

木薯种茎越冬贮藏期间适宜温、湿度分析

申章佑¹ 林洪鑫² 李华丽³ 周佳¹ 李艳英¹ 周灵芝¹ 劳承英¹ 韦本辉¹

(1. 广西农业科学院 经济作物研究所, 南宁 530007;

2. 江西省农业科学院 土壤肥料与资源环境研究所, 南昌 330200;

3. 福建省大田县农业科学研究所, 福建 三明 366100)

摘要 为明确越冬期间贮藏环境的温、湿度条件对木薯种茎生理指标的影响, 设置人工气候箱(N₁)、室内(N₂)、室外(CK₁)、岩洞内(YD)、岩洞外(CK₂)、土洞内(TD)和土洞外(CK₃)7种贮藏方式, 分析越冬期间不同贮藏方式的温、湿度变化对木薯种茎生理指标的影响。结果表明: 1) 在越冬期间, N₁、N₂、CK₁、YD、CK₂、TD和CK₃的温度变化分别为0.7、11.0、20.1、1.7、24.6、2.9和20.8℃, 相对湿度(RH)度变化分别为8.5%、23.7%、42.0%、0、65.4%、0和45.4%; N₁、YD和TD贮藏期间的温度、相对湿度条件相对稳定; 2) 在越冬期间, 木薯种茎的游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖含量均表现出随贮藏时间的延长而增加, 增加的速率由高到低为N₁>N₂>CK₁; 3) 越冬贮藏后, 贮藏质量从高到低为N₁>TD>YD>N₂>CK₁>CK₃>CK₂, 其中N₁显著高于其余6个处理, CK₃和CK₂显著低于其余5个处理。越冬贮藏期间, 相对适宜并稳定的温度和湿度条件可以减弱木薯种茎的生理活动, 有利于提高木薯种茎的贮藏质量。综上, 建议木薯种茎越冬贮藏期间的温度控制在15~18℃, 同时将相对湿度保持在85%以上。

关键词 木薯; 种茎; 越冬贮藏; 温湿度; 生理; 质量

中图分类号 S533

文章编号 1007-4333(2022)02-0057-09

文献标志码 A

Analysis of suitable temperature and humidity for cassava seed-stem overwintering storage

SHEN Zhangyou¹, LIN Hongxin², LI Huali³, ZHOU Jia¹, LI Yanying¹,
ZHOU Lingzhi¹, LAO Chengying¹, WEI Benhui¹

(1. Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;

2. Soil Fertilizer and Resources Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China;

3. Institute of Agriculture Science of Datian County, Fujian Province, Sanming 366100, China)

Abstract To study the effect of temperature and humidity conditions of storage environment during overwintering on cassava seed-stem, this study set up seven storage methods including manual climatic box (N₁), indoor (N₂), outdoor (CK₁), inside karst cave (YD), outside karst cave (CK₂), inside earth cave (TD), outside earth cave (CK₃). The effects of temperature and humidity changes on the physiological changes of cassava seed-stem and storage quality overwinter were investigated. The results indicated that: 1) During overwinter storage, the temperature variation of the seven storage methods respectively were 0.7, 11.0, 20.1, 1.7, 24.6, 2.9, and 20.8℃, and the humidity variation were 8.5%, 23.7%, 42.0%, 65.4%, 0 and 45.4%. The temperature and humidity conditions were relatively stable for N₁, YD and TD; 2) The contents of proline, malondialdehyde, soluble protein and soluble sugar in cassava seed-stem increased with the prolonging of storage time, the rate of increase was shown as N₁>N₂>

收稿日期: 2021-02-05

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-11); 国家自然科学基金(31860347); 广西农业科学院稳定资助科研团队(桂农科 2021YT056)

第一作者: 申章佑, 副研究员, 主要从事薯类作物育种与栽培研究, E-mail: shzhyou@126.com

CK₁; 3) After overwinter storage, the order of storage quality was N₁ > TD > YD > N₂ > CK₁ > CK₃ > CK₂. N₁ was significantly higher than the other six treatments, and CK₃ and CK₂ were significantly lower than the other five treatments. In conclusion, during overwinter storage, relatively suitable and stable temperature and humidity conditions can weaken the physiological activities of cassava seed-stem, which is beneficial to improve the storage quality. It is suggested that the temperature of cassava seed-stem overwinter storage should be controlled at 15–18 °C, and the humidity should be kept above 85%.

Keywords cassava; seed-stem; overwinter storage; physiological; quality

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)是典型的热带作物,广泛种植于非洲、美洲和亚洲等 100 余个国家和地区,中国的木薯种植区域主要分布在海南省、广西壮族自治区和广东省,其次为福建省、江西省以及云南省的南部^[1]。木薯是世界三大薯类作物之一,素有“淀粉之王”美誉,是全世界约 7 亿人口的主食,同时是生产酒精等产品的重要工业原料^[2]。除了淀粉之外,木薯还含有蛋白质、维生素和膳食纤维等,而膳食纤维被证明具有抗癌、降低血糖、预防糖尿病和提高人体免疫力等功能^[3]。随着生活水平的提高,人们越来越多的关注功能性食品,因此木薯很受青睐,木薯的食用化随之发展^[4]。为了满足木薯食用化的发展需求,木薯的种植区域也在逐步的北移^[5],但木薯是热带作物,在自然条件下其种茎在北方地区无法安全越冬。因此,研究木薯种茎越冬的安全储藏条件,将有利于木薯的北移种植及开发利用,有效促进木薯产业的发展。

木薯以营养繁殖为主,其繁殖的材料为带腋芽的茎秆(种茎),与其他营养繁殖的作物一样,当繁殖材料采收后必须要贮藏于相对适宜的环境中进行保存,否则种茎容易坏死,影响来年种植^[6]。如,甘薯种薯贮藏期间适宜的温度为 10~15 °C,相对湿度为 85%~95%^[7]。马铃薯种薯贮藏期间的适宜温度为 3~4 °C,相对湿度为 80%~95%^[8]。有关木薯种茎越冬贮藏的研究,多数都集中在贮藏方式,如木薯种茎在贮藏期间,倒置斜放比竖直斜放和水平横放有更好的贮藏效果,贮藏后田间出苗率更高^[9]。贮藏期间木薯种茎进行蜡封,成活率表现为蜡封两端(78.1%)>蜡封顶端(56.4%)>蜡封基端(44.2%)>不蜡封(11.8%)^[10]。木薯种茎越冬贮藏时,露地堆放比室内堆放的种茎发芽较快、发芽整齐且发芽率较高^[11]。采用棚内浅池横置堆放法、棚内浅池直立堆放法能有效地提高种茎越冬贮藏成活率^[6]。但是有关木薯种茎越冬期间贮藏环境条件的研究报道甚少。本研究通过设置不同贮藏条件,分析木薯种茎越冬贮藏期间的环境条件变化及其对种茎生理指标

的影响,旨在明确适宜于木薯种茎安全越冬的温、湿度条件,以期为木薯北移种植过程中的种茎安全贮藏提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

供试木薯品种为‘华南 205’(‘SC205’),中国热带农业科学院选育。

1.2 试验方法

试验于 2018-12-28—2019-03-28 分别在广西壮族自治区南宁市西乡塘区(108.2° E, 22.8° N)、江西省赣州市大余县(114.4° E, 25.54° N)和福建省三明市大田县进行(117.9° E, 25.79° N)。

在广西壮族自治区南宁市西乡塘区试验点,设置人工气候箱(N₁,温度 15 °C、相对湿度不设置、光照 0)、室内竖放(N₂)和室外竖放(CK₁) 3 种贮藏方式。挑选 480 根完全成熟、无病虫、大小相对统一的木薯种茎,其中 30 根(分 3 次)用于贮藏开始(0 d)种茎的游离脯氨酸、丙二醛、可溶性糖和可溶性蛋白等参数测定,另外 450 根分别贮藏于 3 种贮藏方式,每个贮藏方式放置 150 根。在贮藏后 30、60 和 90 d,每种贮藏方式随机选取 45 根种茎(分 3 次),调查种茎的存活率,然后用其中 30 根(分 3 次)进行种茎游离脯氨酸、丙二醛、可溶性糖和可溶性蛋白等参数测定;剩余 15 根(分 3 次)砍成 15 cm 长的种茎段,在大棚内进行沙培,观察记录出苗情况。贮藏期间 3 种贮藏方式的温度和相对湿度变化,见表 1。

在江西省赣州市大余县试验点,挑选完全成熟、无病虫、大小相对统一的木薯种茎,于天然岩洞内(YD)和岩洞外(CK₂)分别竖放贮藏 150 根,将洞口用杂草等封堵住;贮藏结束后,随机抽取 90 根(分 3 次)调查种茎存活率,随机抽取 30 根,将存活部分砍成 15 cm 长的种茎段进行沙培,3 次重复,观察记录出苗情况。贮藏期间 2 种贮藏方式的温度和相对湿度变化,见表 2。

在福建省三明市大田县试验点,挑选完全成熟、

表1 广西壮族自治区试验点木薯种茎越冬贮藏期间的温度和相对湿度

Table 1 Temperature and relative humidity of cassava seed-stem overwintering storage in Guangxi Automatic Region

贮藏时间/d Storage time	贮藏方式 Storage methods	温度/°C Temperature				相对湿度/% Relative humidity			
		最高 Maximum	最低 Minimum	平均值 Average value	差值 Difference value	最大 Maximum	最小 Minimum	平均值 Average value	差值 Difference value
0~30	N ₁	15.3	14.6	15.0	0.7	99.3	90.8	96.1	8.5
	N ₂	17.5	9.3	14.1	8.2	83.6	72.5	77.8	11.1
	CK ₁	20.5	7.5	14.7	13.0	95.7	63.2	81.1	32.5
31~60	N ₁	15.1	14.8	14.9	0.3	99.2	95.9	97.3	3.3
	N ₂	18.8	9.3	12.4	9.5	89.5	66.3	76.9	23.2
	CK ₁	21.0	6.0	12.8	15.0	96.1	54.1	79.0	42.0
61~90	N ₁	15.0	14.9	14.9	0.1	98.7	94.3	97.1	4.4
	N ₂	20.3	14.3	17.3	6.0	85.9	65.8	77.4	20.1
	CK ₁	26.0	14.0	20.1	12.0	93.4	66.2	80.1	27.2

注: N₁, 人工气候箱贮藏; N₂, 室内贮藏, CK₁, 室外贮藏。下同。Note: N₁, manual climatic box storage; N₂, indoor storage; CK₁, outdoor storage. The same below.

表2 江西省和福建省试验点木薯种茎越冬贮藏期间的温度和相对湿度

Table 2 Temperature and relative humidity of cassava seed-stem overwintering storage in Jiangxi and Fujian

贮藏地点 Storage place	贮藏方式 Storage methods	温度/°C Temperature				相对湿度/% Relative humidity			
		最高 Maximum	最低 Minimum	平均值 Average value	差值 Difference value	最大 Maximum	最小 Minimum	平均值 Average value	差值 Difference value
江西省大余县 Dayu Jiangxi	YD	19.8	18.1	18.7	1.7	100.0	100.0	100.0	0.0
	CK ₂	26.4	1.8	14.1	24.6	97.3	31.9	71.6	65.4
福建省大田县 Datian Fujian	TD	17.6	14.7	16.8	2.9	100.0	100.0	100.0	0.0
	CK ₃	23.3	2.5	12.8	20.8	99.7	54.3	73.7	45.4

注: YD和CK₂分别为岩洞内和洞外贮藏; TD和CK₃分别代表土洞内和洞外贮藏。下同。Note: YD, CK₂ stands for inside and outside karst cave storage; TD, CK₃ stands for inside and outside earth cave storage. The same below.

无病虫、大小相对统一的木薯种茎,于人工挖掘的土洞内(TD)和土洞外(CK₃)分别贮藏150根,将洞口用木板等封堵住;贮藏结束后,随机抽取90根(分成3次)调查种茎存活率,随机抽取30根,将存活部分砍成15 cm长的种茎段进行沙培,3次重复,观察记录出苗情况。贮藏期间2种贮藏方式的温度和相对湿度变化,见表2。

1.3 测定项目与方法

温度、相对湿度:自动记录,使用仪器为L92-1(杭州路格科技有限公司生产),从种茎贮藏开始记录,每2 h自动记录1次,直至贮藏结束。

种茎存活率:种茎存活率=芽眼存活数/芽眼总数×100%。

出苗率:出苗率=出苗株数/下种株数×100%。

有效贮藏系数:有效贮藏系数=种茎存活率×出苗率

种茎游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖含量:将所有存活种茎的芽点全部取出,切碎混合均匀,参照李小方等^[12]的方法测定。

1.4 数据处理及统计分析

用Microsoft Excel 2013和IBM SPSS Statistics 19.0进行数据统计、分析,采用新复极差法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏方式木薯种茎的生理变化

由表3可知,随着贮藏时间的延长,木薯种茎内的游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖含量都会随之增加。

贮藏开始时木薯种茎的游离脯氨酸含量为8.34 nmol/g。贮藏30 d时,N₁、N₂和CK₁分别增加1.70、3.16和4.17倍,均显著高于贮藏开始时的含量,且3种贮藏方式之间差异均显著($P<0.05$);贮藏60 d时,比贮藏开始时分别增加2.27、6.62和8.68倍,3种贮藏方式之间差异均显著($P<0.05$);贮藏90 d时,比贮藏开始时分别增加3.09、8.63和10.07倍,3种贮藏方式之间差异均显著($P<0.05$),含量由高到低为CK₁>N₂>N₁。

贮藏开始时木薯种茎的丙二醛含量为0.55 nmol/g。贮藏30 d时,N₁、N₂和CK₁分别增加1.22、1.64和2.35倍,均显著高于贮藏开始时的含量,且3种贮藏方式之间差异均显著($P<0.05$);贮藏60 d时,比贮藏开始时分别增加1.44、2.89和

4.45倍,3种贮藏方式之间差异均显著($P<0.05$);贮藏90 d时,比贮藏开始时分别增加1.69、3.71、6.56倍,3种贮藏方式之间差异均显著($P<0.05$),含量由高到低为CK₁>N₂>N₁。

贮藏开始时木薯种茎的可溶性蛋白含量为1.52 mg/g。贮藏30 d时,N₁、N₂和CK₁分别增加1.30、1.36和1.74倍,均显著高于贮藏开始时的含量,N₁和N₂显著小于CK₁($P<0.05$),N₁和N₂差异不显著($P>0.05$);当贮藏60 d时,比贮藏开始时分别增加1.62、2.09和2.99倍,3种贮藏方式之间差异均显著($P<0.05$);当贮藏90 d时,比贮藏开始时分别增加1.95、3.05和4.62倍,3种贮藏方式之间差异互为显著($P<0.05$),含量由高到低为CK₁>N₂>N₁。

贮藏开始时木薯种茎的可溶性糖含量为11.60 mg/g。贮藏30 d时,N₁、N₂和CK₁分别增加1.33、1.65和2.13倍,均显著高于贮藏开始时的含量,且3种贮藏方式之间差异互为显著($P<0.05$);贮藏60 d时,比贮藏开始时分别增加1.45、2.37和4.02倍,3种贮藏方式之间差异互为显著($P<0.05$);贮藏90 d时,比贮藏开始时分别增加1.67、3.41和5.23倍,3种贮藏方式之间差异互为显著($P<0.05$),含量由高到低为CK₁>N₂>N₁。

2.2 不同贮藏方式木薯种茎的贮藏质量

木薯种茎的贮藏质量可以由存活率、出苗率和有效贮藏系数来衡量。由表4可知,越冬期间不同贮藏方式的木薯种茎存活率表现为,N₁最高,为97.80%,CK₂最低,为15.83%;N₁均显著高于($P<0.05$)YD、N₂、CK₁、CK₂和CK₃,但与TD差异不显著($P>0.05$);N₂与CK₁差异不显著($P>0.05$),CK₂与CK₃差异不显著($P>0.05$)。

种茎出苗率表现为,N₁最高,为97.43%,CK₂最低,为48.20%;CK₂和CK₃均显著低于其余5种贮藏方式,变化范围在32.00~49.23个百分点;N₁、N₂、YD和TD这4种贮藏方式之间差异均不显著($P>0.05$)。

木薯种茎有效贮藏系数表现为,N₁最高,为95.29%,TD次之,为90.33%,CK₂最低,为7.79%;N₁和TD均显著高于($P<0.05$)其余5种贮藏方式,但两者之间差异不显著($P>0.05$);YD显著高于($P<0.05$)N₂、CK₁、CK₂、CK₃,高出0.06~10.82倍;N₂和CK₁显著高于($P<0.05$)CK₂、CK₃,高出7.21~9.57倍;N₂和CK₁、YD和TD、CK₂和CK₃,两两之间差异均不显著($P>0.05$)。

表 3 越冬期间不同贮藏方式木薯种茎的生理指标

Table 3 Physiological changes of cassava seed-stem in different storage methods overwintering storage

贮藏时间/d Storage time	贮藏方式 Storage methods	游离脯氨酸/ (nmol/g) Proline	丙二醛/ (nmol/g) MDA	可溶性蛋白/ (mg/g) Soluble protein	可溶性糖含量/(mg/g) Soluble sugar contents
0	N ₁	8.34±0.21 g	0.55±0.02 i	1.52±0.07 f	11.60±0.86 h
	N ₂	8.34±0.21 g	0.55±0.02 i	1.52±0.07 f	11.60±0.86 h
	CK ₁	8.34±0.21 g	0.55±0.02 i	1.52±0.07 f	11.60±0.86 h
30	N ₁	14.14±1.20 f	0.67±0.01 h	1.97±0.10 e	15.48±0.52 g
	N ₂	26.35±2.91 e	0.90±0.02 f	2.07±0.13 e	19.17±0.82 f
	CK ₁	34.79±0.93 d	1.29±0.02 e	2.65±0.14 d	24.73±0.92 e
60	N ₁	18.97±5.97 f	0.79±0.00 g	2.46±0.07 d	16.84±0.80 g
	N ₂	55.19±2.41 c	1.59±0.02 d	3.17±0.09 c	27.49±0.86 d
	CK ₁	72.37±5.62 b	2.45±0.06 b	4.55±0.13 b	46.61±0.69 b
90	N ₁	25.80±2.23 e	0.93±0.05 f	2.97±0.10 c	19.40±0.79 f
	N ₂	71.93±3.32 b	2.04±0.06 c	4.64±0.24 b	39.61±0.67 c
	CK ₁	83.99±4.97 a	3.61±0.16 a	7.02±0.17 a	60.72±0.93 a

注：同列数据不同字母表示差异显著(P<0.05)，相同字母表示差异不显著(P>0.05)。下同。

Note: Within the same column, different letters represent significant differences (P<0.05), while the same letters represent no significant differences (P>0.05). The same below.

表 4 越冬期间不同贮藏方式木薯种茎的存活率、出苗率和有效贮藏系数

Table 4 Survival rate, emergence rate and effective storage coefficient of cassava seed-stem in different storage methods overwintering %

贮藏方式 Storage method	芽眼存活率 Survival rate	出苗率 Emergence rate	有效贮藏系数 Effective storage coefficient
N ₁	97.80±1.59 a	97.43±2.31 a	95.29±2.69 a
N ₂	88.73±1.65 cd	90.43±2.72 ab	80.34±6.80 c
CK ₁	85.37±2.39 d	85.73±2.70 b	73.28±7.10 d
YD	91.87±1.37 bc	94.03±2.35 a	86.43±4.55 b
CK ₂	15.83±3.20 e	48.20±7.48 c	7.79±2.82 e
TD	94.37±1.64 ab	95.73±1.58 a	90.33±1.21 ab
CK ₃	18.23±1.68 e	53.73±6.35 c	9.73±0.55 e

以上结果表明，木薯种茎在越冬贮藏期间，有保护措施的贮藏方式可以提高木薯种茎的品质，而对于无保护措施的贮藏方式，在低纬度地区也可以获得较好的贮藏效果。

2.3 温、湿度变化与木薯种茎生理变化、贮藏质量之间的相关性

由表 5 可知，越冬贮藏期间环境的最高温度、平均温度、温度差与木薯种茎的游离脯氨酸、丙二醛、

可溶性蛋白、可溶性糖含量均呈正相关关系,其中最高温度和温度差与丙二醛、可溶性蛋白、可溶性糖含量均呈显著正相关;最低温度与游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白、可溶性糖含量均呈显著负相关关系。

越冬贮藏期间的最高温度、温度差与木薯种

茎的存活率、出苗率、有效贮藏系数均呈负相关关系,其中温度差与存活率、出苗率、有效贮藏系数均呈显著负相关;平均温度与木薯种茎的存活率、出苗率、有效贮藏系数均呈正相关关系,其中,最低温度与存活率、出苗率、有效贮藏系数均呈显著正相关。

表5 越冬期间温度与木薯种茎生理指标和贮藏效果的 Person 相关分析

Table 5 Pearson correlation analysis results of overwintering storage temperature with cassava seed-stem physiological indexes and storage quality

温度 Temperature	丙二醛 MDA	游离脯氨酸 Proline	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	存活率 Survival rate	出苗率 Emergence rate	有效贮藏系数 Effective storage coefficient
最高 Maximum	0.997*	0.933	0.998*	1.000*	-0.679	-0.713	-0.713
最低 Minimum	-0.968*	-0.982*	-0.973*	-0.989*	0.823*	0.836*	0.841*
平均值 Average value	0.740	0.378	0.727	0.664	0.667	0.650	0.665
差值 Difference value	0.988*	0.958	0.991*	0.999*	-0.795*	-0.819*	-0.821*

注: * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。下同。

Note: * represents significant correlation at 0.05 level (bilateral). The same below.

由表 6 可知,越冬贮藏期间的最大相对湿度、最小相对湿度、平均相对湿度与木薯种茎的游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白、可溶性糖含量均呈负相关关系,其中最小相对湿度与游离脯氨酸含量之间均呈显著负相关;相对湿度差与木薯种茎的生理指标之间均呈正相关关系,但不显著。

越冬贮藏期间的最大相对湿度、相对湿度差与木薯种茎的存活率、出苗率、有效贮藏系数呈负相关关系,其中相对湿度差与存活率、出苗率、有效贮藏系数均呈显著负相关;最小相对湿度、平均相对湿度与木薯种茎的存活率、出苗率、有效贮藏系数均呈显著正相关。

以上结果表明,越冬贮藏期间不论是高温还是低温都会显著增强木薯种茎的生理活动,加剧种茎贮藏物质的消耗,从而降低种茎的贮藏品质,较低的相对湿度也会影响种茎的贮藏品质,相对稳定的温度和相对湿度条件将有利于木薯种茎的越冬贮藏。

3 讨论

木薯以营养繁殖为主,其繁殖的材料为带腋芽的茎秆(种茎),木薯种茎砍收后,与其他作物种子一样,仍然是一个生命活体,体内的生命活动仍在继续,贮藏的时间以及贮藏的环境条件对贮藏品质有较大的影响。我国冬季的气候特征普遍表现为低温干燥,植物在低温逆境中表现为,活性氧爆发,生物膜系统受破坏,电解质外渗,保护酶系统启动^[13-14],如果机体内的活性氧不能被有效清除,则诱发膜脂过氧化,导致丙二醛含量增加^[15]。此时如果渗透调节物质增加,将有利于维持植物机体的渗透平衡,缓解植物的逆境伤害^[16]。游离脯氨酸^[17]、可溶性蛋白^[18]和可溶性糖^[19]等均是植物体内的渗透调节物质,在一定低温范围内它们含量的变化与胁迫程度呈显著正相关关系。如在低温胁迫下,甘蔗根系内丙二醛、游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白含量等指标均呈先上升后降低趋势^[20]。随低温春化时间增

表 6 越冬贮藏期间相对湿度与木薯种茎生理指标和贮藏效果的 person 相关分析

Table 6 Pearson correlation analysis results of overwintering storage relative humidity with cassava seed-stem physiological indexes and storage quality

相对湿度 Relative humidity	丙二醛 MDA	游离脯氨酸 Proline	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	存活率 Survival rate	出苗率 Emergence rate	有效贮藏系数 Effective storage coefficient
最大 Maximum	-0.205	-0.607	-0.223	-0.308	-0.105	-0.064	-0.071
最小 Minimum	-0.955	-0.989*	-0.961	-0.981	0.761*	0.792*	0.782*
平均值 Average value	-0.726	-0.951	-0.738	-0.795	0.751*	0.756*	0.757*
差值 Difference value	0.993	0.909	0.989	0.996	-0.812*	-0.839*	-0.830*

加,白菜型冬油菜萌动种子的丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖呈先升高后降低的趋势^[21]。在本试验中,3种贮藏方式的种茎受低温胁迫的程度由重到轻均为CK₁>N₂>N₁,木薯种茎内的游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖含量由高到低也均表现为CK₁>N₂>N₁,与刘惠杰等^[22]研究结果一致。木薯种茎内的游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖含量随着贮藏时间的延长逐渐升高,与罗兴录^[23]和陈晨^[24]等研究结果一致。就本试验而言,贮藏期间的相对湿度条件对木薯种茎的游离脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白和可溶性糖含量无显著影响。

贮藏环境的温、湿度和贮藏时间的长度以及种子本身的含水量都会对贮藏的品质造成影响,且作物种子类型不同,适宜贮藏条件也不同^[25]。木薯以营养体繁殖,其安全贮藏的环境条件有别于水稻^[26-27]、玉米^[28]等作物。本试验中,木薯种茎贮藏品质最好的3种贮藏方式为N₁、YD和TD,贮藏温度均保持在15~18℃,相对湿度都在85%以上,且温湿度的波动不能过大,与马铃薯种薯的贮藏条件(温度3~4℃,相对湿度80%~95%)^[8]和甘薯种薯的贮藏条件(温度10~15℃,相对湿度85%~95%)^[7]类似。木薯种茎贮藏期间的损失主要有2种,一种是低温引起的霉烂死亡,另一种因为相对湿度不够导致的干枯死亡^[29]。在本试验中,CK₂和CK₃两种方式的有效贮藏系数最低,这是因为CK₂在2019-01-26—2019-02-07,连续13d处在1.8~

5.2℃的低温时段,CK₃在2019-01-28—2019-02-07,连续10d处在2.5~5.1℃的低温时段,且整个贮藏期间,CK₂和CK₃的相对湿度在85%以下的时间分别为85和78d,占整个贮藏期的时间比分别为91.40%和83.87%,贮藏期间遭受持续低温和干燥导致木薯种茎贮藏品质下降,该结果与刘海刚等^[30]的研究结果相似。本试验中,木薯种茎的贮藏品质与贮藏期间的最低温度、最小相对湿度和平均相对湿度之间均呈显著正相关,与温度差、相对湿度差均呈显著负相关,也说明越冬贮藏期间较低的温度和较低的相对湿度条件会严重的降低木薯种茎的贮藏质量,越冬贮藏期间相对稳定的温度和较大的相对湿度水平条件将有利于提高木薯种茎的贮藏品质。

4 结 论

根据本试验结果,建议木薯种茎越冬贮藏期间的温度控制在15~18℃,同时将相对湿度保持在85%以上。江西省赣州市大余县和福建省三明市大田县的地理纬度都在北纬25.5°附近,属于木薯的北移种植区,根据本试验的结果,可以在这些地区因地制宜的应用岩洞或者土洞进行木薯种茎的安全越冬贮藏。

参考文献 References

- [1] 谭砚文,李丛希,曾华盛.中国木薯生产和贸易发展分析[J].世界农业,2018,40(10):163-168

- Tan Y W, Li C X, Zeng H S. Analysis of cassava production and trade development in China[J]. *World Agriculture*, 2018, 40(10): 163-168 (in Chinese)
- [2] Oliveira E J, Santana F A, Oliveira L A, Santos V S. Genetic parameters and prediction of genotypic values for root quality traits in cassava using REML/BLUP [J]. *Genetics and Molecular Research*, 2014, 13(3): 6683-6700
- [3] Montagnac J A, Davis C R, Tanumihardjo S A. Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2009, 8(3): 181-194
- [4] 刘丽娟, 黄洁, 魏云霞, 王娟, 何时雨, 吴健雄, 李伯松, 马旭东, 郑永清. 我国木薯的食用与休闲利用现状及其发展对策[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(5): 145-150
- Liu L J, Huang J, Wei Y X, Wang J, He S Y, Wu J X, Li B S, Ma X D, Zheng Y Q. Current situation and development countermeasures of edible cassava and its leisure utilization in China[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(5): 145-150 (in Chinese)
- [5] 王惠君, 王文泉, 李文彬, 陈新, 卢诚, 黎明, 陈友. 木薯的抗寒性及北移栽培技术研究进展综述[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(7): 1437-1443
- Wang H J, Wang W Q, Li W B, Chen X, Lu C, Li M, Chen Y. Research progress of cold resistance and cultivation practice for cassava moving northward [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2016, 37(7): 1437-1443 (in Chinese)
- [6] 林萱. 木薯北移栽培关键技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015
- Lin X. Northward movement of cassava cultivation key technology research [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015 (in Chinese)
- [7] 孙书军, 周志林, 张安, 戴习彬, 赵冬兰, 唐君. 影响甘薯种薯安全贮藏的主要因素及防控技术[J]. *农业开发与装备*, 2020, 26(6): 192-193
- Sun S J, Zhou Z L, Zhang A, Dai X B, Zhao D L, Tang J. The main factors affecting the safe storage of sweet potato seeds and their control techniques [J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2020, 26(6): 192-193 (in Chinese)
- [8] 杨昕臻, 胡新元, 张武. 马铃薯种薯的贮藏特性及贮藏技术[J]. *甘肃农业科技*, 2015, 53(9): 93-95
- Yang X Z, Hu X Y, Zhang W. Storage characteristics and storage technology of seed potato [J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2015, 53(9): 93-95 (in Chinese)
- [9] 张树河, 李海明, 李和平, 林霜霜, 潘世明. 不同摆放方式对木薯种茎贮藏效果的影响[J]. *福建热作科技*, 2016, 41(3): 16-18
- Zhang S H, Li H M, Li H P, Lin S S, Pan S M. Effects of different arrangement on storage effect of cassava seed stem[J]. *Fujian Science & Technology of Tropical Crops*, 2016, 41(3): 16-18 (in Chinese)
- [10] 刘海刚, 孟富宣, 段元杰, 杨玉皎, 魏云霞, 黄洁. 蜡封对木薯种茎贮藏活力的影响[J]. *云南农业大学学报: 自然科学版*, 2020, 35(3): 386-391
- Liu H G, Meng F X, Duan Y J, Yang Y J, Wei Y X, Huang J. Effects of wax sealing on the storage vigor of cassava stem cuttings[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University: Natural Science*, 2020, 35(3): 386-391 (in Chinese)
- [11] 樊吴静, 罗兴录, 阮榆. 不同贮藏方式对木薯种茎发芽及其相关生理特性影响研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(33): 65-70
- Fan W J, Luo X L, Ruan Y. Effects of different storage methods on germination and physiological indexes of seed-stem of cassava[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(33): 65-70 (in Chinese)
- [12] 李小方, 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 第5版. 北京: 高等教育出版社, 2016
- Li X F, Zhang Z L. *Experimental Guidance of Plant Physiology* [M]. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2016 (in Chinese)
- [13] Lyons J M. Chilling injury in plants[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1973, 24(1): 445-466
- [14] Gill S S, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, 48(12): 909-930
- [15] 邱乾栋, 吕晓贞, 臧德奎, 张雷, 张立才, 杜淑辉. 植物抗寒生理研究进展[J]. *山东农业科学*, 2009, 47(8): 53-57
- Qiu Q D, Lv X Z, Zang D K, Zhang L, Zhang L C, Du S H. Research progress on plant physiology of cold resistance[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009, 47(8): 53-57 (in Chinese)
- [16] 高媛, 齐晓花, 杨景华, 张明方. 高等植物对低温胁迫的响应研究[J]. *北方园艺*, 2007, 31(10): 58-61
- Gao Y, Qi X H, Yang J H, Zhang M F. The response mechanism of cold stress in higher plants [J]. *Northern Horticulture*, 2007, 31(10): 58-61 (in Chinese)
- [17] Kavi-Kishor P B K, Sangam S, Amrutha R N, Sri-Laxmi P, Naidu K R, Rao K, Rao S, Reddy K J, Theriappan P, Sreenivasulu N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance [J]. *Current Science*, 2005, 88(3): 424-438
- [18] Kumar V, Yadav S K. Proline and betaine provide protection to antioxidant and methylglyoxal detoxification systems during cold stress in *Camellia sinensis* (L) O Kuntze [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2009, 31(2): 261-269
- [19] 蒲媛媛, 赵玉红, 武军艳, 刘丽君, 白静, 马骊, 牛早霞, 金姣姣, 方彦, 李学才, 孙万仓. 北方强冬性甘蓝型冬油菜品种(系)抗寒性评价[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(19): 3291-3308
- Pu Y Y, Zhao Y H, Wu J Y, Liu L J, Bai J, Ma L, Niu Z X, Jin J J, Fang Y, Li X C, Sun W C. Comprehensive assessment

- on cold tolerance of the strong winter *Brassica napus* L. cultivated in Northern China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(19): 3291-3308 (in Chinese)
- [20] 孙波, 刘光玲, 杨丽涛, 李杨瑞. 甘蔗幼苗根系形态结构及保护系统对低温胁迫的响应[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(6): 71-80
- Sun B, Liu G L, Yang L T, Li Y R. Response of chilling stress on root morphology and protection systems of sugarcane seedlings [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2014, 19(6): 71-80 (in Chinese)
- [21] 徐春梅, 邹娅, 刘自刚, 米文博, 徐明霞, 董小云, 曹小东, 郑国强, 方新玲. 白菜型冬油菜萌动种子低温春化的生理生化特征[J]. 中国农业科学, 2020, 53(5): 929-941
- Xu C M, Zou Y, Liu Z G, Mi W B, Xu M X, Dong X Y, Cao X D, Zheng G Q, Fang X L. Physiological and Biochemical Characteristics of Low Temperature Vernalization of Germinating Seeds of *Brassica rapa* [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 53(5): 929-941 (in Chinese)
- [22] 刘惠杰, 禰维言, 叶艺, 葛玉红, 姬秋梅, 冯斗. 低温条件下木薯种茎发芽性能与生理指标相关性研究[J]. 南方农业学报, 2011, 42(8): 866-869
- Liu H J, Xuan W Y, Ye Y, Ge Y H, Ji Q M, Feng D. Relationship of germination performance and some physio-biochemical indices of cassava stems under low temperature[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2011, 42(8): 866-869 (in Chinese)
- [23] 罗兴录, 岑忠用, 谢和霞, 张平刚, 莫凡, 潘英华, 陆飞伍. 不同木薯品种抗衰老生理与淀粉积累特性研究[J]. 作物学报, 2007, 33(6): 1018-1024
- Luo X L, Cen Z Y, Xie H X, Zhang P G, Mo F, Pan Y H, Lu F W. Characters of Anti-Senility Physiology and starch accumulation in different cassava cultivars [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(6): 1018-1024 (in Chinese)
- [24] 陈晨, 黄洁, 刘子凡, 魏云霞. 木薯种茎活力的生理生化鉴评指标研究[J]. 生态科学, 2019, 38(3): 125-132
- Chen C, Huang J, Liu Z F, Wei Y X. Study on physiological and biochemical evaluation indices of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) stem vigor [J]. *Ecological Science*, 2019, 38(3): 125-132 (in Chinese)
- [25] McDonald M B. Seed deterioration: Physiology, repair and assessment [J]. *Seed Science and Technology*, 1999, 27(1): 177-237
- [26] Harrington J F. Biochemical basis of seed longevity [J]. *Seed Science and Technology*, 1973, 1(2): 453-461
- [27] 黄上志, 傅家瑞. 贮藏温度和相对湿度对杂交水稻种子耐贮藏性的影响[J]. 植物生理学通讯, 1986, 22(6): 38-41, 37
- Huang S Z, Fu J R. Effect of storage temperature and relative humidity on the storability of hybrid rice seeds [J]. *Plant Physiology Communications*, 1986, 22(6): 38-41, 37 (in Chinese)
- [28] 王婧, 李晓丽, 姜朋, 田凤龙, 侯文倩, 孙庆泉. 不同贮藏条件下小麦和玉米种子的水分变化规律及其建模验证[J]. 作物学报, 2011, 37(1): 158-164
- Wang J, Li X L, Jiang P, Tian F L, Hou W Q, Sun Q Q. Moisture variation and model verification of wheat and maize seeds under different storage conditions [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(1): 158-164 (in Chinese)
- [29] 张受芷. 木薯种茎怎样安全贮藏[J]. 广西农业科学, 1964(8): 38-41
- Zhang S Z. How to store cassava seed stem safely [J]. *Guangxi Agricultural Sciences*, 1964(8): 38-41 (in Chinese)
- [30] 刘海刚, 沙毓沧, 袁理春, 黄洁, 赵琼玲, 罗会英, 瞿文林. 不同木薯品种(品系)种茎耐贮藏性研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(8): 1416-1420
- Liu H G, Sha Y C, Yuan L C, Huang J, Zhao Q L, Luo H Y, Qu W L. Studies on the storability of different cassava varieties [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2013, 34(8): 1416-1420 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅