

气调包装对刀豆贮藏品质及抗氧化酶活性的影响

罗淑芬¹, 胡花丽¹, 陈筱艳^{1,2}, 李鹏霞^{1,*}

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.南京林业大学轻工科学与工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要:为探讨刀豆最适宜气调包装气体组分, 在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和相对湿度80%~90%条件下, 以盒中充空气为对照1(CK1)及盒中充空气后盒侧打孔为对照2(CK2), 研究了9组气体组分($\text{O}_2 + \text{CO}_2$, N_2 为平衡气)处理对刀豆贮藏品质及抗氧化酶活性的影响。结果表明, 与其他处理组及对照组相比, 气体组分为1%~4% $\text{O}_2 + 1\% \text{CO}_2$ 处理的刀豆感官品质最好, 其有效地抑制了刀豆粗纤维和丙二醛含量增加, 维持了刀豆叶绿素、VC、可溶性糖和还原糖的含量, 并抑制了刀豆多酚氧化酶活性上升和超氧化物歧化酶活性降低, 但其对维持刀豆可溶性蛋白含量和过氧化物酶活性的效果与部分处理组之间差异不大, 且得出9组处理之间刀豆的质量损失率差异不显著。在此基础上, 用主成分分析法对各处理进行了综合评价, 得出最适宜刀豆贮藏的气体组分为1%~4% $\text{O}_2 + 1\% \text{CO}_2$ 。

关键词:刀豆; 气调包装; 贮藏品质; 抗氧化酶; 主成分分析

Effect of Modified Atmosphere Packaging on Storage Quality and Activities of Antioxidant Enzymes of Sword Bean

LUO Shufen¹, HU Huali¹, CHEN Xiaoyan^{1,2}, LI Pengxia^{1,*}

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

2. College of Light Industry Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: This study aimed to explore the optimum initial gas composition for modified atmosphere packaging (MAP) of sword bean. The effects of different initial gas composition ($\text{O}_2 + \text{CO}_2$, N_2 as the balance gas) on storage quality and antioxidant enzyme activities of sword bean during storage at $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ and relative humidity (RH) of 80%~90% were studied. Sword bean packaged in air were used as controls. The result indicated that packages with 1%~4% $\text{O}_2 + 1\% \text{CO}_2$ showed the best sensory quality, and could significantly inhibit the decline in the contents of crude fiber and malonaldehyde (MDA) when compared with other packages and controls. Furthermore, sword bean packaged in 1%~4% $\text{O}_2 + 1\% \text{CO}_2$ could maintain high contents of chlorophyll, vitamin C, soluble sugar and reducing sugar. Through analysis of antioxidant enzyme activities of sword bean, we found that packages with 1%~4% $\text{O}_2 + 1\% \text{CO}_2$ significantly delayed the increase in polyphenol oxidase (PPO) activity and the decrease in superoxide dismutase (SOD) activity in comparison with other packages and controls. However, the results showed that the effect of packages with 1%~4% $\text{O}_2 + 1\% \text{CO}_2$ on soluble protein and peroxidase (POD) activity of sword bean was not better than that of other packages, and no differences in weight loss ratio were found among all packages. Then, the comprehensive evaluation by principal component analysis (PCA) based on the previous analysis showed that packages with 1%~4% $\text{O}_2 + 1\% \text{CO}_2$ were optimal for maintaining the quality of sword bean during storage.

Key words: sword bean; MAP; storage quality; antioxidant enzyme activities; principal component analysis

中图分类号: S643.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)22-0260-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201522049

刀豆 (*Leguminosae*), 豆科刀豆属的栽培亚种, 别名大刀豆、挟剑豆、刀鞘豆、洋刀豆, 一年生缠绕状草质藤本, 原产于南美洲, 在我国长江流域及其以南各省区均有栽培, 以华中、华南为多^[1]。刀豆富含蛋白质、糖、刀豆氨酸等营养物质, 为卫生部公布的第一批“药

食兼用食物”, 具有上乘保健疗效功能。但刀豆在采后贮藏中易产生褐斑、腐烂、易老化和纤维化, 脆嫩口感丧失, 以致其难以被消费者接受^[2-3], 因此, 有效解决刀豆采后贮藏保鲜问题迫在眉睫, 但迄今有关刀豆贮藏保鲜的研究鲜有报道。

收稿日期: 2015-04-08

基金项目: 设施专用高产高效豆类蔬菜新品种商业化选育与产业化开发项目 (CX(14)2140)

作者简介: 罗淑芬 (1988—), 女, 研究实习员, 硕士, 研究方向为果蔬保鲜。E-mail: luoshufen666@126.com

*通信作者: 李鹏霞 (1976—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为农产品贮藏保鲜与流通技术。E-mail: pengxiali@126.com

气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)被认为是当前国际上最有效和最先进的果蔬保鲜方法之一^[4]。在MAP中,确定果蔬产品最佳气体组分是包装工艺关键技术之一,而最佳气体组分的确定需对不同气体组分MAP后的果蔬质量进行综合评价方能确定^[5]。在豆类蔬菜MAP保鲜中,卢立新等^[6]研究了MAP对青豌豆贮藏效果的影响,通过主成分分析得出了青豌豆贮藏最佳气体组合;Silva等^[7]采用MAP对油豆角进行了零售与运输模拟贮藏;Elwan等^[8]采用MAP对甜豌豆进行了深入研究;Nasar-Abbas等^[9]采用MAP有效提高了蚕豆贮藏品质;王利斌等^[4,10]分别探讨了气调处理对豇豆和四季豆贮藏效果的影响。可见,MAP对一些豆类蔬菜的贮藏效果已得到印证,但迄今将MAP应用于刀豆贮藏尚未见相关报道。

本研究以刀豆为材料,以9组气体组分对其进行MAP处理,分别探讨各处理对刀豆品质和抗氧化酶活性的影响。在此基础上,用主成分分析综合评价了MAP对刀豆品质及抗氧化酶活性的影响,旨在为刀豆的贮藏保鲜提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

刀豆于清晨购买于南京众彩物流市场,选取豆体鲜绿、无明显机械损伤、成熟度均匀的刀豆为实验材料。购买当天将刀豆清洗,沥干,随机分装于PP材质食品包装盒(21.0 cm×14.5 cm×8.0 cm, O₂渗透系数112.38 cm³/(m²·d·bar), CO₂渗透系数42.88 cm³/(m²·d·bar))中,每盒(220±20)g。于MAP机上进行包装,向盒中充入预设配比的气体,每个处理5个平行。对照1(CK1)于MAP机上直接进行封口包装,盒内为空气,对照2(CK2)为封口包装后,于盒侧打孔4个。

1.2 仪器与设备

YHH360复合MAP机 苏州亚和保鲜科技有限公司; TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器公司; Ultra-Turrax Ika-T18 basic打浆机 德国IKA公司; PL202-L酸度计 梅特勒-托利多(上海)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 MAP处理

按表1比例配比对刀豆进行MAP处理,置于

(20±1)℃、相对湿度80%~90%条件下贮藏,取贮藏0 d及7 d样品,取样部位为豆荚两端各去掉4 cm,豆荚边缘去除约4 mm,去除豆粒,将剩余部分切碎于液氮中速冻,置于-20℃保存,每个处理取样(300±20)g,用于各项指标测定。

表1 MAP气体组分及比例
Table 1 Gas composition of modified atmosphere packaging

处理	体积分数/%		
	O ₂	CO ₂	N ₂
MAP1	1	1	98
MAP2	1	4	95
MAP3	1	7	92
MAP4	4	1	95
MAP5	4	4	92
MAP6	4	7	89
MAP7	7	1	92
MAP8	7	4	89
MAP9	7	7	86

1.3.2 感官评价

感官品质评价标准主要参考刘晓丹等^[2]的研究,评分标准见表2。

表2 感官评价的评分标准
Table 2 Criteria for sensory assessment of sword bean

感官等级	外观	豆粒饱满度	豆荚完好率	得分
1	鲜绿,无腐烂,无褐斑	不饱满	90%~10%	8~10
2	豆体有少许腐烂点,无褐斑	部分饱满	70%~90%	6~8
3	豆体有大量腐烂点,无褐斑	部分饱满	40%~70%	3~6
4	豆体有大量腐烂点,有褐斑	大量饱满	40%以下	0~3

1.3.3 指标测定

质量损失率:质量法^[11];粗纤维含量:酸性洗涤法^[12];叶绿素含量:乙醇浸提法^[13];VC含量:钼蓝比色法^[14];可溶性蛋白含量:参考Bradford等^[15]的方法;可溶性糖含量:蒽酮比色法^[16];还原糖含量:3,5-二硝基水杨酸比色法^[17];丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量:参照李合生等^[15]的方法略作改动;多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性:参照王毓宁等^[18]的方法;过氧化物酶(peroxidase, POD)活性:愈创木酚法;超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性:采用氮蓝四唑法^[17]。

2 结果与分析

2.1 气体组分对刀豆品质及抗氧化酶活性的影响

2.1.1 MAP刀豆贮藏前后品质指标测定结果

对9组处理及CK1、CK2条件下刀豆贮藏0 d及7 d后进行品质指标的测定并分析。统计平均后的结果,见表3。

表3 气体组分对刀豆品质的影响
Table 3 Effect of gas composition on quality of sword bean

贮藏时间/d	处理	感官得分	质量损失率/%	粗纤维含量/(mg/g)	叶绿素含量/(μg/g)	VC含量/(mg/g)	可溶性蛋白含量/(mg/g)	可溶性糖含量/(mg/g)	还原糖含量/(mg/g)	MDA含量/(μmol/g)
0		10.00±0.00	0.00±0.00	6.29±1.20	31.32±1.35	15.42±0.68	1.90±0.056	15.85±0.25	5.20±0.06	2.89±0.16
7	MAP1	9.50±0.18 ^a	0.44±0.03 ^a	6.69±0.69 ^a	19.98±0.47 ^a	10.09±0.15 ^a	1.57±0.03 ^a	13.84±0.11 ^a	4.33±0.01 ^a	7.09±0.09 ^a
	MAP2	7.50±0.05 ^d	0.38±0.02 ^a	8.61±0.11 ^b	18.29±0.39 ^b	8.97±0.50 ^b	1.31±0.01 ^b	12.30±0.10 ^b	4.04±0.06 ^d	9.72±0.33 ^{ab}
	MAP3	6.50±0.08 ^d	0.45±0.05 ^a	9.26±1.13 ^b	17.45±0.83 ^b	7.72±0.07 ^d	1.36±0.03 ^{cd}	11.26±0.14 ^c	3.87±0.07 ^d	8.68±0.03 ^c
	MAP4	9.80±0.11 ^a	0.36±0.02 ^a	6.61±0.52 ^a	20.09±0.76 ^a	10.57±0.07 ^a	1.73±0.02 ^a	14.53±0.32 ^a	4.51±0.04 ^a	7.25±0.12 ^d
	MAP5	8.50±0.17 ^b	0.42±0.01 ^a	8.70±0.17 ^b	18.37±0.35 ^b	8.76±0.40 ^b	1.58±0.01 ^b	12.84±0.08 ^b	4.18±0.05 ^{cd}	8.73±0.20 ^c
	MAP6	7.00±0.10 ^e	0.37±0.02 ^a	9.64±0.17 ^b	18.37±0.46 ^b	8.87±0.53 ^b	1.53±0.04 ^a	12.01±0.16 ^c	4.04±0.05 ^{cd}	9.52±0.16 ^b
	MAP7	8.50±0.13 ^b	0.49±0.03 ^a	9.04±0.36 ^b	17.57±0.37 ^d	8.25±0.17 ^a	1.38±0.02 ^a	11.16±0.23 ^c	4.03±0.05 ^{cd}	9.88±0.05 ^{ab}
	MAP8	8.00±0.09 ^{bc}	0.36±0.02 ^a	8.69±1.16 ^b	16.96±0.56 ^{cd}	8.28±0.10 ^a	1.47±0.08 ^d	11.07±0.17 ^{cd}	3.88±0.11 ^d	8.62±0.08 ^c
	MAP9	7.00±0.08 ^e	0.47±0.03 ^a	9.50±0.79 ^b	15.93±0.50 ^b	8.96±0.17 ^b	1.26±0.02 ^b	10.65±0.14 ^c	3.67±0.02 ^e	9.54±0.25 ^b
	CK1	6.00±0.08 ^f	0.62±0.05 ^a	9.92±0.62 ^b	14.02±0.24 ^e	7.58±0.14 ^d	1.22±0.05 ^b	10.01±0.15 ^c	3.44±0.04 ^e	10.05±0.16 ^{ab}
	CK2	5.00±0.12 ^f	3.56±0.08 ^a	11.08±0.75 ^b	13.36±0.56 ^e	7.24±0.07 ^d	1.22±0.03 ^b	9.59±0.06 ^c	3.27±0.02 ^f	10.10±0.11 ^a

注：同列数据肩标字母不同表示差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

2.1.1.1 感官得分

由表3可知，贮藏第7天，刀豆感官得分最高为MAP1和MAP4，且皆显著高于其他处理及CK1、CK2（ $P<0.05$ ）；其次为MAP2、MAP5、MAP7、MAP8；MAP3、MAP6、MAP9中刀豆感官得分较低，且MAP3与CK1无显著差异，说明7% CO₂与O₂（分别为1%、4%、7%）配比不利于保持刀豆感官得分，推测其可能由于CO₂分压为7%时引发了刀豆表面褐斑的发生^[19]，从而导致其感官品质较差。可见，低O₂和低CO₂配比的处理能有效保持刀豆感官得分，其中MAP1和MAP4（1%~4% O₂+1% CO₂）效果最好。

2.1.1.2 质量损失率

从表3可知，贮藏第7天，所有处理组质量损失率均显著低于对照组（ $P<0.05$ ），其中CK2质量损失率达3.56%，而处理组中质量损失率最高仅为0.49%，表明MAP显著减少了刀豆在（20±1）℃贮藏时的质量损失，这可能与刀豆在密闭包装盒内，水分得到保留有关。而9组处理之间刀豆的质量损失率差异不显著。

2.1.1.3 粗纤维含量

粗纤维含量是人们评价果蔬商品质量的一个重要指标，也是检验果蔬成熟衰老的主要依据^[20]。由表3可知，贮藏第7天，刀豆粗纤维含量最低为MAP1、MAP4，显著低于其他处理及CK1、CK2（ $P<0.05$ ）；其他处理组与CK1皆无显著差异；CK2中刀豆粗纤维含量为MAP1、MAP4的近1.7倍，原因可能为MAP1和MAP4包装内的刀豆在包装盒内形成了一个新陈代谢较慢的平衡环境，粗纤维含量增加缓慢，而CK2中刀豆呼吸作用旺盛，激活了纤维素酶活力，促进了纤维素生成，粗纤维含量增加。可见，适宜的O₂和CO₂配比可有效抑制刀豆粗纤维含量增加，本实验中气体组分1%~4% O₂+1% CO₂效果显著。

2.1.1.4 叶绿素含量

刀豆在贮藏过程中，豆荚表面叶绿素逐渐分解，颜色发生了改变。由表3可知，与相同比例O₂（分别为1%、4%、7%）配比时，1%、4%、7% CO₂处理的刀豆叶绿素含量下降幅度依次增大；与相同比例CO₂（分别为1%、4%、7%）配比时，1% O₂和4% O₂处理的刀豆叶绿素含量下降幅度较7% O₂小。分析结果显示，MAP1、MAP4刀豆叶绿素含量最高，且显著高于其他处理组及CK1、CK2（ $P<0.05$ ），其下降幅度分别为36.20%、35.85%；其次为MAP2（41.60%）、MAP5（41.32%）、MAP6（41.31%），且显著高于MAP3、MAP7~9及CK1、CK2（ $P<0.05$ ）。可知，1%~4% O₂+1% CO₂对比对抑制刀豆叶绿素降解效果最好。

2.1.1.5 VC含量

果蔬中的VC很容易被氧化，其含量是评价果蔬保鲜、贮藏技术优劣的一个重要指标^[21]。由表3可知，除MAP3、MAP7、MAP8外的处理均有效抑制了刀豆VC含量下降，其中MAP1、MAP4处理效果最佳，二者与其他处理相比得出，当气体配比中O₂比例提高至7%，或CO₂比例提高至4%和7%时，MAP对维持刀豆VC含量的效果降低。可见，1%~4% O₂+1% CO₂对比最有利于保持刀豆VC含量。

2.1.1.6 可溶性蛋白含量

由表3可知，贮藏第7天时，处理组及CK1、CK2刀豆可溶性蛋白含量均有不同程度的下降，其中CK1、CK2下降幅度最大，均为35.79%；MAP5（16.84%）、MAP1（17.34%）、MAP6（19.47%）可溶性蛋白含量显著高于CK1、CK2（ $P<0.05$ ），但三者间无差异；MAP4下降幅度最小，为8.95%，其可溶性蛋白含量显著高于其他处理及CK1、CK2（ $P<0.05$ ）。同时分析得出，与相同比例CO₂（分别为1%、4%、7%）配比时，1% O₂和7% O₂处理的刀豆可溶性蛋白含量皆显著低于4% O₂处理（ $P<0.05$ ）。由此表明，一味的降低或升高O₂比例皆不利于保持刀豆蛋白质含量，本研究中MAP4气体组分最适宜。

2.1.1.7 可溶性糖和还原糖含量

可溶性糖和还原糖是果蔬重要组成成分，刚采收的刀豆可溶性糖和还原糖含量都较高，随着贮藏时间的延长，果蔬呼吸需要能源，消耗一部分糖，并且刀豆纤维化，一部分可溶性糖会转化为还原糖，而还原糖会转化为纤维素类物质，从而导致还原糖和可溶性糖含量同时下降^[4,22]。

表3数据显示，贮藏第7天时，处理组及CK1、CK2刀豆的可溶性糖和还原糖含量皆下降，且O₂和CO₂比例对两者的影响相似，与相同比例O₂（分别为1%、4%、7%）配比时，CO₂比例越高，对刀豆可溶性糖和还原糖

保持效果越差;与相同比例CO₂ (分别为1%、4%、7%) 配比时,7% O₂处理对刀豆可溶性糖和还原糖含量的保持效果皆较1% O₂和4% O₂处理差;分析结果得出,所有处理组的可溶性糖和还原糖含量皆显著高于CK1、CK2 ($P<0.05$),其中MAP4处理显著高于其他处理组及CK1、CK2 ($P<0.05$),最有利于抑制刀豆可溶性糖和还原糖消耗;MAP1 (1% O₂+1% CO₂) 效果次之。

2.1.1.8 MDA含量

从表3可知,贮藏第7天,与相同比例O₂ (分别为1%、4%、7%) 配比时,4% CO₂和7% CO₂处理的刀豆MDA含量皆显著高于1% CO₂ ($P<0.05$),表明提高CO₂比例会增大刀豆MDA的积累。结果显示,MAP1和MAP4对抑制刀豆MDA积累的效果最好,其MDA含量皆显著低于其他处理及CK1、CK2 ($P<0.05$);MAP3、MAP5、MAP8处理效果其次;MAP2、MAP6、MAP7和MAP9处理的刀豆MDA含量与对照组无显著差异。

2.1.2 MAP刀豆贮藏前后抗氧化酶(PPO、POD、SOD)活性测定结果

对9组处理及CK1、CK2条件下刀豆贮藏0 d及7 d后进行PPO、POD、SOD活性的测定并分析。统计平均后的结果,见表4。

表4 气体组分对刀豆抗氧化酶活性的影响
Table 4 Effect of gas composition on antioxidant enzyme activities of sword bean

贮藏时间/d	处理	PPO活性	POD活性	SOD活性
0		309.27±3.93	397.0±6.21	1.27±0.04
	MAP1	310.95±2.62 ^e	423.88±8.89 ^{ab}	1.12±0.01 ^a
	MAP2	353.68±8.87 ^d	409.98±3.50 ^{abc}	0.99±0.03 ^{bc}
	MAP3	353.00±4.12 ^d	401.05±3.20 ^{bc}	0.76±0.06 ^{cd}
	MAP4	313.67±10.85 ^e	435.89±10.12 ^a	1.14±0.03 ^a
	MAP5	367.88±4.88 ^{cd}	410.63±2.27 ^{abc}	1.08±0.03 ^{ab}
7	MAP6	378.04±5.80 ^c	405.34±4.67 ^c	0.89±0.05 ^{cd}
	MAP7	376.75±6.77 ^c	387.01±6.00 ^{cde}	0.89±0.05 ^{cd}
	MAP8	380.01±5.16 ^c	393.56±2.44 ^{cd}	0.86±0.04 ^{de}
	MAP9	384.20±1.03 ^c	390.56±5.02 ^{cde}	0.80±0.02 ^{def}
	CK1	430.24±6.40 ^b	370.42±19.44 ^{de}	0.79±0.03 ^{def}
	CK2	463.45±7.63 ^a	364.67±4.23 ^e	0.71±0.03 ^f

如表4所示,贮藏第7天,所有处理组刀豆PPO活性显著低于CK1、CK2 ($P<0.05$),其中MAP1和MAP4中刀豆PPO活性显著低于其他处理 ($P<0.05$)。研究结果还显示,与相同比例CO₂ (分别为1%、4%、7%) 配比时,7% O₂处理的刀豆PPO活性较1% O₂、4% O₂处理高;与相同比例O₂ (分别为1%、4%、7%) 配比时,4%、7% CO₂处理的刀豆PPO活性皆较1% CO₂处理高。可知,1%~4% O₂+1% CO₂配比最有利于抑制刀豆PPO活性。

POD活性是果实成熟衰老的重要标志之一,并伴随着果实成熟衰老而发生变化,所表现出的伤害效应或保护作用因植物种类和品种不同而异^[23]。从表4可知,在贮藏第7天,不同处理组及CK1、CK2处理的刀豆POD活性变化不同,MAP1~6表现为上升,其处理的刀豆POD活性皆显著高于CK1和CK2 ($P<0.05$);MAP7~9和CK1、CK2表现为下降,与CK1、CK2皆无显著差异。分别分析气体配比中O₂和CO₂比例对刀豆POD活性的影响,得知CO₂比例对其影响不大,而当O₂比例为7%时,其活性已不能得到有效保持。由此可见,1%~4% O₂与CO₂ (分别为1%、4%、7%时) 配比可有效维持刀豆较高的POD活性。

此外,贮藏第7天时,不同处理组与CK1、CK2刀豆的SOD活性都有不同程度的减小,MAP1、MAP2、MAP4、MAP5处理有效维持了刀豆较高的SOD活性,其中MAP1、MAP4处理的刀豆SOD活性又显著高于MAP2和MAP5 ($P<0.05$);其他处理组刀豆SOD活性与CK1、CK2无显著差异。以上分析表明,1%~4% O₂+1% CO₂配比对保持刀豆SOD活性效果最好;当气体配比中CO₂比例升高,效果随之降低;当O₂或CO₂比例升高至7%时不能有效保持刀豆SOD活性。

2.2 MAP刀豆贮藏前后品质综合评价及最佳气体组分的确定

如2.1节所述,采用主成分分析对不同处理组进行综合评价,其基本思路为:利用降维思想,首先求出 m 个评价指标的 m 个主成分,然后根据相关原则如累计方差贡献率等方法选取少数几个主成分来代替原始指标,再将所选取的主成分用适当形式综合,得到一个综合评价指标,依据综合评价指标对被评对象进行排序比较。具体参考陶瑛等^[24]的方法。

2.2.1 主成分的提取

使用SPASS统计软件对9组MAP刀豆贮藏前后品质进行主成分分析,得到相关系数矩阵 R ,其中与第1、第2主成分相对应的特征值(λ)和特征向量(U)分别为:

$$\lambda_1=9.284, U_1=(0.280\ 3, -0.137\ 2, -0.307\ 2, 0.309\ 4, 0.280\ 9, 0.281\ 6, 0.325\ 9, 0.315\ 1, -0.276\ 0, -0.293\ 1, 0.309\ 5, 0.301\ 3)^T$$

$$\lambda_2=1.023, U_2=(0.284\ 7, 0.870\ 1, -0.214\ 5, -0.019\ 8, 0.045\ 5, -0.218\ 5, -0.087\ 0, 0.009\ 9, -0.135\ 5, -0.146\ 3, -0.129\ 5, 0.044\ 5)^T$$

第1主成分与第2主成分占总方差相对贡献率= $(\lambda_1+\lambda_2)/\sum_{i=1}^{12}\lambda_i=85.89\%$,故取第1、第2主成分为公共因子。

2.2.2 综合评价及排序

为了进一步评价样本贮藏效果的差异,可对两个主成分计算因子得分,同时对9个处理组刀豆贮藏前后品质进行综合评价,选取其中最适宜的气体配比。以主成分的贡献率为加权均值为权数求得综合得分值 Y :

$$Y=0.9007Y_1+0.0993Y_2$$

计算结果见表5, 结果表明, 在 $(20\pm1)^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏7 d后, MAP1、MAP4处理的刀豆综合得分最高。

表5 MAP刀豆贮藏前后品质的综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of sword bean quality before and after storage with MAP

处理组	因子1得分 (F_1)	因子2得分 (F_2)	主成分1 得分 (Y_1)	主成分2 得分 (Y_2)	总得分 (Y)	位次
MAP1	1.359 7	1.277 9	4.142 8	1.292 5	3.859 8	2
MAP2	-0.113 1	-0.652 2	-0.344 6	-0.659 7	-0.375 8	4
MAP3	-0.758 6	0.266 4	-2.311 3	0.269 4	-2.055 0	8
MAP4	1.818 1	-0.384 4	5.539 6	-0.388 8	4.950 9	1
MAP5	0.287 0	-0.075 5	0.874 4	-0.076 3	0.780 0	3
MAP6	-0.288 9	-1.526 1	-0.880 1	-1.543 6	-0.946 0	5
MAP7	-0.658 7	1.387 6	-2.007 0	1.403 5	-1.668 3	7
MAP8	-0.432 8	-0.989 3	-1.318 7	-1.000 6	-1.287 1	6
MAP9	-1.212 8	0.695 7	-3.695 2	0.703 6	-3.258 4	9

3 讨论

刀豆采后衰老与呼吸密切相关, 机体的能量主要通过呼吸作用来提供。因此刀豆采后的关键技术之一就是控制呼吸生理变化, 在不引起无氧呼吸的前提下尽可能降低呼吸强度, 而通过MAP改变贮藏环境的 O_2 和 CO_2 含量就可抑制刀豆呼吸作用, 从而降低其生理消耗, 达到贮藏保鲜效果。

对MAP刀豆贮藏品质的研究结果显示, 适宜气体组分可有效提高刀豆感官品质, 并抑制其粗纤维含量增加和叶绿素的降解, 且适宜的 O_2 和 CO_2 配比处理能达到最好的效果, 其中1%~4% O_2 与1% CO_2 配比效果优于7% O_2 与 CO_2 配比及4%、7% CO_2 与 O_2 配比, 宗汝静等^[25]对菜豆的研究也表明, CO_2 分压越低越好, 当高于2%时会引起豆荚组织褐变, 加重锈斑, 使其感官品质下降。李艳等^[26]认为太低 O_2 和太高 CO_2 比例配比会使番木瓜呼吸作用紊乱、品质下降, 从而导致VC等营养成分损耗大; 与此相似, 本研究发现低 O_2 和低 CO_2 比例配比(1%~4% O_2 +1% CO_2)对保持刀豆中VC、可溶性糖和还原糖等含量效果最佳, 当7% O_2 与 CO_2 配比及4%、7% CO_2 与 O_2 配比时对三者含量保持效果降低; Ye等^[27]的研究结果也表明, 适宜 O_2 和 CO_2 配比对MAP香菇可溶性糖和还原糖含量的保持效果可达到最好。但在太低或太高 O_2 比例条件下刀豆可溶性蛋白含量下降幅度皆较大, 本研究中4% O_2 +1% CO_2 配比处理效果最优, 而1% O_2 +1% CO_2 配比处理的效果与部分处理无显著差异, 孙雯等^[28]的研究也表明, 不同气体比例配比对核仁可溶性蛋白的保持效果差异显著。此外, 本实验中MAP有效抑制了刀豆贮藏时的质量损失, 但处理组间差异不显著, 这与卢立新等^[6]对青豌豆的研究结果相似。

刀豆在贮藏过程中机体内存在的POD、SOD能分解消除代谢产生的自由基, 使体内的氧化还原反应处于平衡, 当机体内自由基的产生与消除之间平衡遭到破坏, 膜脂饱和脂肪酸双键受自由基的攻击而被过氧化, 氧化终产物为MDA, 从而对细胞产生毒害作用。同时, 在贮藏过程中, 豆体表面产生褐斑是刀豆品质变化的一个重要体现, 而PPO在果蔬褐变中发挥着重要作用。Groeschel等^[29]对菜豆的MAP研究认为, CO_2 分压超过2%时就会诱发其表面产生锈斑, 加快细胞膜脂过氧化速度。与其相似, 本研究分析得出, 低 O_2 和低 CO_2 配比(1%~4% O_2 +1% CO_2)能同时有效抑制刀豆PPO活性和MDA的积累, 并保持较高的POD、SOD活性, 且其效果优于其他处理, 当 O_2 比例提高至7%时, 与 CO_2 配比进行处理已不能有效保持刀豆POD、SOD活性, 且MDA的积累明显增高; 当 CO_2 比例提高到7%时, 与 O_2 配比进行处理已不能有效保持刀豆SOD活性, 且MDA的积累也明显增高。这与费凡^[30]以MAP研究荔枝的结果基本相似; 邵海燕等^[31]的研究也表明, MAP可使去壳茭白保持较低PPO活性和较高POD活性。

对单因素进行分析只能得出对该因素的最佳MAP气体组分, 而通过主成分分析, 对刀豆贮藏前后的品质进行综合评价能够更全面地反映不同处理组的贮藏效果, 陶瑛等^[24]也认为对单个指标进行分析以评估样本的差异具有片面性。本研究对刀豆贮藏前后品质的综合评价得出, 1~4% O_2 +1% CO_2 配比的处理得分最高, 说明该配比处理的刀豆品质最好。

4 结论

以9组气体组分对刀豆进行MAP实验, 同时设立充空气和充空气后盒侧打孔为对照, 对新鲜刀豆和贮藏7 d后刀豆进行感官评价, 并测定其质量损失率、粗纤维、叶绿素、VC、可溶性蛋白、可溶性糖、还原糖、MDA的含量及PPO、POD、SOD的活性, 对9个处理组及2个对照组的各项指标进行方差分析。在此基础上, 用主成分分析法对9个处理组刀豆的品质及抗氧化酶活性进行了综合评价。结果表明: 适宜比例气体组分气调包装可更有效的提高刀豆的贮藏效果。采用主成分分析法对刀豆贮藏前后的品质进行综合评价, 得到在 $(20\pm1)^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏刀豆的最适宜气体组分为1%~4% O_2 +1% CO_2 。

参考文献:

- [1] 朱建标, 王洪新. 鲜刀豆的营养价值及开发利用[J]. 加工技术, 2002, 12(3): 52-53.

- [2] 刘晓丹, 谢晶. 利用韦氏分析预测刀豆货架寿命并确定感官评分标准切分点[J]. 食品工业科技, 2006, 27(7): 172-174.
- [3] 王凌云. UV-B辐射对矮生刀豆的生长及生理生化特性的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [4] 王利斌, 姜丽, 石韵, 等. 气调贮藏对四季豆生理生化特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 289-293.
- [5] 陶瑛. 番茄与青豌豆气调保鲜工艺及其质量评价研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- [6] 卢立新, 陶瑛. 青豌豆气调包装工艺及其质量评价[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(1): 16-20.
- [7] SILVA F M, CHAU K V, BRECHT J K, et al. Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures[J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 17(7): 1-9.
- [8] EIWAN M W M, NASEF I N, EL-SEIFI S K, et al. Storability, shelf-life and quality assurance of sugar snap peas (cv. Super sugar snap) using modified atmosphere packaging[J]. 2015, 100(12): 205-211.
- [9] NASAR-ABBAS S M, PLUMMER J A, SIDDIQUE K H M, et al. Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(6): 113-118.
- [10] 王利斌, 姜丽, 石韵, 等. 气调贮藏对豇豆贮藏期效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 313-316. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201310069.
- [11] 魏宝东, 赵帅, 程顺昌, 等. 不同浓度CO₂对油菜常温下贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(8): 212-215.
- [12] LIU Z Y, JIANG W B. Lignin deposition and effect of post-harvest treatment on lignification of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.)[J]. Plant Growth Regulation, 2006, 48(3): 187-193.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 191-196.
- [14] 郝建军, 刘延吉. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001: 73-73.
- [15] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1): 248-254.
- [16] KAFKAS E, KOSAR M, PAYDAS S, et al. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages[J]. Food Chemistry, 2007, 100(3): 1229-1236.
- [17] 王福建, 李宝聚, 石延霞, 等. 0.14% MCP可湿性粉剂对菠菜保鲜效果试验[J]. 北方园艺, 2002, 34(6): 50-51.
- [18] 王毓宁, 胡花丽, 孙娅, 等. 保鲜剂对双孢菇褐变的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 1141-1145.
- [19] 刘传富. 菜豆的贮藏保鲜技术[J]. 农业科技通讯, 2001(5): 31-33.
- [20] 戴云云, 罗海波, 姜丽, 等. 预冷对气调荷兰豆货架期品质和生理的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 430-433.
- [21] 王宏, 董大远. 清洗剂对生菜贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(8): 153-156.
- [22] 郑卓杰. 中国食用豆类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 348-351.
- [23] 魏云潇, 叶兴乾. 果蔬采后成熟衰老酶与保护酶类系统的研究进展[J]. 食品工业科技, 2009, 28(12): 427-431.
- [24] 陶瑛, 卢立新. 主成分分析法在气调包装果蔬质量评价中的应用[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 8-16.
- [25] 宗汝静, 黄碧玉, 芦永新, 等. 菜豆贮藏中影响锈斑和腐烂发生的因素及其控制[J]. 园艺学报, 1983, 10(1): 35-39.
- [26] 李艳, 胡长鹰, 王志伟. 气调保鲜包装初始气体浓度对比对番木瓜品质的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 484-490.
- [27] YE J J, LI J R, HAN X X, et al. Effects of active modified atmosphere packaging on postharvest quality of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) stored at cold storage[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(3): 474-482.
- [28] 孙雯. 气调贮藏对核桃鲜果保鲜与采后生理效应的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [29] GROESCHEL E C, NELSON A I, STEINBERG M P. Changes in color and other characteristics of green beans stored in controlled refrigerated atmospheres[J]. Journal of Food Science, 1966, 3(7): 488-496.
- [30] 费凡. 气调包装及臭氧处理对荔枝贮藏品质的影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [31] 郇海燕, 杨剑婷, 陈杭君, 等. 气调小包装对去壳茭白品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1990-1994.