

萝卜抽薹特性的鉴定及抽薹前后 生理生化特性的变化

田山君¹, 严希², 孟繁博³, 张万萍¹

(1. 贵州大学 农学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州辣椒研究所, 贵州 贵阳 550006; 3. 贵州省现代农业发展研究所, 贵州 贵阳 550006)

摘 要:以 9 个不同萝卜品种为试材, 运用模糊综合评价的方法分析评价了其抽薹特性, 在此基础上鉴定出耐抽薹品种“白玉春”和易抽薹品种“满身红”, 并对其抽薹前后的生理生化特性进行了分析, 以期探查萝卜抽薹的生理机制提供参考依据。结果表明: 可溶性糖、可溶性蛋白质含量和过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)及硝酸还原酶(NR)活性在抽薹前呈逐渐升高趋势, 但抽薹后则逐渐下降。因此, 这些生理指标与抽薹呈现正相关的关系。

关键词:萝卜; 抽薹; 生理指标

中图分类号:S 631.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)12-0001-05

萝卜(*Raphanus sativus* L.)属十字花科萝卜属植物, 以贮藏器官肉质根为主要产品, 在我国大部分地区广泛栽培。我国萝卜种质资源丰富, 目前, 已经选育出了适合不同季节栽培的萝卜, 但由于萝卜是低温长日照植物, 冬春播种的萝卜经低温春化影响, 很快便开始花芽分化, 从而发生在肉质根尚未成熟时就先期抽薹的问题, 即早期抽薹或未熟抽薹。萝卜抽薹后其根部不再生长, 最终导致肉质根质地疏松(即糠心), 严重影响其产量、营养和商品品质等。因此, 先期抽薹已成为萝卜育种生产中的一个重要问题^[1-2]。

蔬菜抽薹过程往往会发生复杂的物质变化^[3-4], 研究这些物质变化的规律有利于帮助了解抽薹的机制和影响抽薹的因素, 从而为蔬菜耐抽薹育种提供参考依据^[5]。为了解是否有抗抽薹开花的物质存在, YOSHIDA 等^[6]利用早抽薹萝卜品种‘Taibyou-soubutori’和迟抽薹品种‘Haruhajime’分离鉴定出了多种抗抽薹化合物, 如乙酸乙酯、茉莉酸、茉莉酮酸

甲酯、活性氧等。大白菜的冬性强弱与抽薹时植物激素赤霉素的含量呈正相关, 但与 ABA 的含量呈负相关, 并且 IAA/ABA 的比值随着冬性的降低而升高^[7]。陆则权等^[8]对抽薹当归的研究表明, 抽薹植株体内的可溶性糖量呈抽薹前期下降、后期上升的规律, 与未抽薹植株相比差异显著。杜正香等^[9]研究发现, 白菜的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性在抽薹前后呈先下降后上升再下降的趋势, 其变化规律在早抽薹和晚抽薹品种间的差异较为明显, 表明这几种酶的活性变化与蔬菜的抽薹特性有一定的联系。另外, 萝卜叶片中的 MDA 含量随春化处理时间延长而升高, 而耐抽薹萝卜品种的可溶性蛋白质含量和可溶性糖含量则明显低于易抽薹品种, 游离氨基酸含量则相反^[10]。

由此可以看出, 有关蔬菜抽薹与生理生化指标的关系尚不明确。该研究利用模糊综合评判方法分析评价 9 个不同萝卜品种的抽薹特性, 并在此基础上鉴定出一对耐抽薹和易抽薹品种, 对其抽薹前后的生理生化特性进行了分析, 以期探查萝卜抽薹的生理机制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以来源于全国不同地域的 9 个萝卜品种为试材, 具体信息见表 1。

第一作者简介:田山君(1986-), 女, 博士, 讲师, 现主要从事植物逆境与高产栽培等研究工作。E-mail: tsjscau@163.com.

责任作者:张万萍(1970-), 女, 博士, 教授, 现主要从事蔬菜栽培及育种等研究工作。E-mail: zwp269@126.com.

基金项目:贵州省科技厅十二五重大专项资助项目(黔科合重大专项字[2013]6007号)。

收稿日期:2017-02-07

表 1 供试萝卜品种

Table 1 Radish varieties used in this study

品种 Variety	来源 Origin
“世龙春”“Shilongchun”	贵州亚春农业科技有限公司
“白玉春”“Baiyuchun”	山东省华胜农业股份有限公司
“新白锦玉”“Xinbaijinyu”	沈阳益久祥种苗有限公司
“楚园 791”“Chuyuan 791”	武汉金正现代种业有限公司
“亚春”“Yachun”	太谷县德丰种业有限公司
精品“红帅”萝卜“Hongshuai”	重庆市高新技术开发区唯尚种子子公司
“新丰光一代”“Xinfengguang F ₁ ”	辽宁省新民市北方蔬菜种子行
“巴基斯坦长白萝卜”	重庆市高新技术开发区唯尚种子子公司
“Long white radish of Pakistan”	
“满身红”“Manshenhong”	成都市新农业武侯种苗研究所

1.2 试验方法

1.2.1 萝卜抽薹特性鉴定试验 于 2015 年 12 月 26 日播种。畦宽 1.2 m、长 10 m 左右,畦间距留 35~45 cm 的过道。9 个品种播种顺序随机排列,每品种 4 行沟,每行沟 20 粒种子,行间距为 30 cm。每品种随机选取 5 株,定点记录抽薹天数、抽薹叶片数、显蕾期、蕾期薹高、开花期、花期薹高、薹高差及顶花枝有效花数。应用模糊数学分析法对 9 个萝卜品种的抽薹特性进行模糊综合评判,以期筛选出耐抽薹和易抽薹的品种。模糊综合评判的隶属度的计算公式: $A_{x_{iy}} = (x_{iy} - \min(x_y)) / (\max(x_y) - \min(x_y))$ 。其中, A 表示模糊综合评判的隶属度; x 表示性状表型值; i 表示第 i 个株系; y 表示第 y 个指标。求得 9 个品种的各农艺性状的隶属度,构成模糊转换矩阵 R 。利用公式 $B = 1/nR$,求得等权模糊综合评判集 R 为各隶属度之和。根据公式即可求得各品种的平均隶属度。

1.2.2 萝卜抽薹前后生理指标的变化 挑选发育饱满的种子 250 粒置于培养皿中,清水漂洗 2~3 次,加清水浸种 12 h,然后置于 20 ℃室温下催芽,露白后置于昼温 5 ℃、光照 14 h 和夜温 2 ℃、光照 10 h

的光照培养箱中进行低温春化处理 20 d,再播种于基质穴盘中进行幼苗培育,常规管理。以短缩茎伸长达 5 mm 作为抽薹的形态标志,在抽薹前 6 d (T1)、前 3 d (T2)、0 d (T3)、后 3 d (T4)、后 6 d (T5),随机采集幼苗的新鲜叶片并迅速低温保存备用。

1.3 项目测定

1.3.1 抽薹指标的测定 显蕾期:播种到肉眼可见花蕾的天数;蕾期薹高:显蕾时基部真叶到花蕾的高度;抽薹天数:显蕾期到开花期的天数;开花期:播种到第 1 朵花开的天数;花期薹高:第 1 朵花开时,从基部真叶到第 1 朵花的高度;薹高差:花期薹高与蕾期薹高之间的高度差;抽薹叶片数:抽薹时基部的叶片数;顶花枝有效花数:萝卜植株顶花序中能结莢的花数。

1.3.2 生理指标的测定 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定,可溶性蛋白质含量采用蛋白染色考马斯亮蓝法测定,硝酸还原酶(NR)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的活性参照李合生^[11]的方法进行测定。每个指标重复测定 3 次。

1.4 数据分析

试验数据采用 DPS 软件(LSD 法进行方差分析)、Excel 2010 软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 萝卜的抽薹特性分析

不同品种萝卜的抽薹指标测定结果如表 2 所示,各指标隶属度计算结果如表 3 所示,最后获得不同萝卜品种的平均隶属度排名见表 4。可以看出,“白玉春”的综合性状最优,其平均隶属度为 0.517 6,鉴定为较耐抽薹品种,其余各品种综合性状随着各自平均隶属度的下降而从优到劣顺次排列,而“满身红”的隶属度最低,为 0.419 6,为较易抽薹品种。

表 2 不同萝卜品种的抽薹指标

Table 2 Bolting indexes in different radish varieties

品种 Variety	显蕾期 Bloom stage /d	抽薹叶片数 Number of bolting leaves/片	薹高差 Difference of bolting height/cm	顶花枝有效花数 Effective flowers number of top branches/朵	抽薹天数 Number of bolting days/d
“世龙春”“Shilongchun”	99.4	9.4	34.8	20.2	7.8
“满身红”“Manshenhong”	100.0	10.8	26.6	9.6	10.8
“新白锦玉”“Xinbaijinyu”	99.6	10.0	28.3	20.8	9.8
“楚园 791”“Chuyuan 791”	79.4	6.0	30.1	25.0	17.0
“亚春”“Yachun”	79.0	6.0	40.5	24.2	16.8
精品“红帅”萝卜“Hongshuai”	78.0	5.4	34.3	28.4	17.0
“新丰光一代”“Xinfengguang F ₁ ”	84.0	6.0	35.3	24.4	15.0
“巴基斯坦长白萝卜”“Long white radish of Pakistan”	92.0	7.4	37.9	22.4	11.8
“白玉春”“Baiyuchun”	74.4	6.4	42.2	27.0	16.4

表 3 不同萝卜品种抽薹指标的隶属度

Table 3 Subordination degree of bolting indexes in different radish varieties

品种 Variety	显蕾期 Bloom stage	抽薹叶片数 Number of bolting leaves	薹高差 Difference of bolting height	顶花枝有效花数 Effective flowers number of top branches	抽薹天数 Number of bolting days
“世龙春”‘Shilongchun’	0.942 1	0.471 1	0.702 7	0.013 2	0.282 9
“满身红”‘Manshenhong’	0.954 5	0.033 1	0.891 9	0.210 5	0.008 1
“新白锦玉”‘Xinbaijinyu’	0.946 3	0.495 9	0.783 8	0.144 7	0.064 1
“楚园 791”‘Chuyuan 791’	0.528 9	0.669 4	0.243 2	0.618 4	0.124 9
“亚春”‘Yachun’	0.520 7	0.636 4	0.243 2	0.605 3	0.476 0
精品“红帅”萝卜‘Hongshuai’	0.500 0	0.809 9	0.162 2	0.618 4	0.268 1
“新丰光一代”‘Xinfengguang F ₁ ’	0.624 0	0.644 6	0.243 2	0.486 8	0.299 1
“巴基斯坦长白萝卜”‘Long white radish of Pakistan’	0.789 3	0.562 0	0.432 4	0.276 3	0.388 3
“白玉春”‘Baiyuchun’	0.425 6	0.752 1	0.297 3	0.578 9	0.534 1

表 4 平均隶属度排名

Table 4 Order of average subordination degree in different radish varieties

品种 Variety	隶属度 Membership	排名 Ranking
“白玉春”‘Baiyuchun’	0.517 6	1
“亚春”‘Yachun’	0.496 3	2
“巴基斯坦长白萝卜”‘Long white radish of Pakistan’	0.489 7	3
“新白锦玉”‘Xinbaijinyu’	0.487 0	4
“世龙春”‘Shilongchun’	0.482 4	5
精品“红帅”萝卜‘Hongshuai’	0.471 7	6
“新丰光一代”‘Xinfengguang F ₁ ’	0.459 5	7
“楚园 791”‘Chuyuan 791’	0.437 0	8
“满身红”‘Manshenhong’	0.419 6	9

2.2 抽薹前后的生理指标变化

2.2.1 抽薹前后可溶性糖含量变化 如图 1 所示, 2 种不同抽薹特性萝卜的可溶性糖含量均在抽薹前逐渐升高, 抽薹后逐渐下降。这可能是由于前期春化过程中可溶性糖逐渐积累, 为抽薹做准备。而抽薹需要可溶性糖分解提供能量, 导致抽薹后可溶性糖含量逐渐下降。其中, “白玉春”的可溶性糖含量从抽薹前 6 d 的 $32.20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升到抽薹当天的 $40.35 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 变化达到差异极显著水平, 而后逐渐下降, 至抽薹后 6 d 为 $33.85 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。“满身红”中可溶性糖含量的从抽薹前 6 d 的 $32.82 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升至抽薹当天的 $45.72 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 然后在抽薹后 6 d 下降至 $35.92 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 变化达到差异极显著水平。比较整个抽薹过程中 2 个萝卜品种可溶性糖含量的变化趋势可发现, 总体而言, 耐抽薹品种“白玉春”要低于易抽薹品种“满身红”。在抽薹前 6 d、抽薹后 3 d 和抽薹后 6 d 二者的差异不大, 而在抽薹前 3 d 和抽薹当天, 二者可溶性糖含量差异较大, 分别达到 7.85 、 $5.37 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 这种差异可能是由于二者不同的抽薹特性所致。

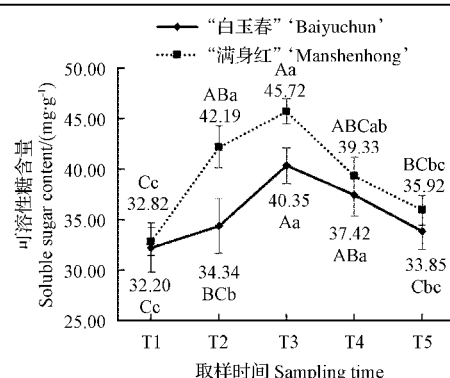


图 1 抽薹过程中 2 个不同品种萝卜可溶性糖含量变化

Fig. 1 Changes of soluble sugar content in a pair of radish varieties during bolting

2.2.2 抽薹前后可溶性蛋白质含量变化 如图 2 所示, 2 种不同抽薹特性的萝卜可溶性蛋白质含量均在抽薹前逐渐升高, 抽薹后逐渐下降。推测可溶性蛋白质的积累在促进萝卜抽薹开花中起重要作用, 抽薹后营养物质向块根转移, 导致可溶性蛋白质含量降低。其中, “白玉春”的可溶性蛋白质含量在抽薹前无显著变化, 到抽薹当天, 可溶性蛋白质含量达

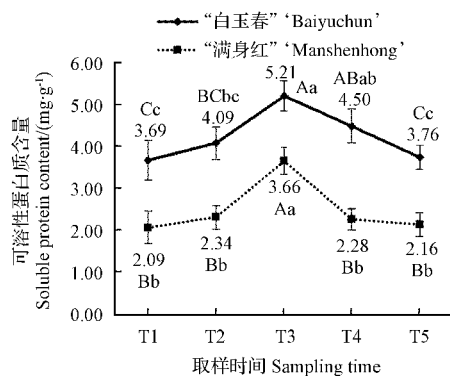


图 2 抽薹过程中 2 个不同品种萝卜可溶性蛋白质含量变化

Fig. 2 Variation of soluble protein content in a pair of radish varieties during bolting

到 $5.21 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 极显著高于抽薹前的水平, 而后逐渐下降, 到抽薹后 6 d 达 $3.76 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。“满身红”的可溶性蛋白质含量变化与“白玉春”相似, 在抽薹前无显著变化, 抽薹当天显著升高, 随后又显著降低。比较整个抽薹过程中 2 个萝卜品种可溶性蛋白质含量的变化趋势可发现, 总体而言, 耐抽薹品种“白玉春”要高于易抽薹品种“满身红”, 且二者的可溶性蛋白质含量变化趋势在整个抽薹过程中表现一致。

2.2.3 抽薹前后过氧化物酶(POD)活性变化 从图 3 可以看出, 2 种不同抽薹特性的萝卜 POD 活性水平在抽薹前逐渐升高, 抽薹当天达到最高值, 此后逐渐下降。其中, “白玉春”的 POD 活性从抽薹前 6 d 的 $38.23 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 升高至抽薹当天的 $52.75 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 抽薹后 6 d 下降至 $35.40 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 达到差异极显著水平。“满身红”中的 POD 活性在抽薹过程中的趋势与“白玉春”较为相似一致, 从抽薹前 6 d 的 $39.73 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升到抽薹当天的 $68.28 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 达到最高值, 之后逐渐下降, 至抽薹后 6 d 达 $40.02 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 恢复到抽薹前的水平, 这表明抽薹过程引起了 POD 活性的变化。比较 2 种抽薹特性的萝卜的 POD 活性可发现, 总体而言, 易抽薹的“满身红”高于耐抽薹的“白玉春”, 后者的变化幅度比前者要大, POD 活性水平越高, 萝卜越易抽薹。

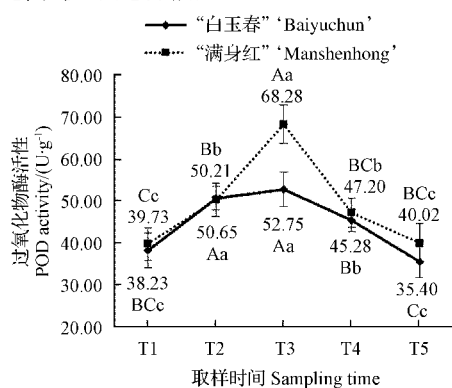


图 3 抽薹过程中 2 个不同品种萝卜过氧化物酶活性变化

Fig. 3 Variation of POD activity in a pair of radish varieties during bolting

2.2.4 抽薹前后过氧化氢酶(CAT)活性变化 如图 4 所示, CAT 活性在抽薹过程中先上升后下降。其中, “白玉春”的 CAT 活性水平由抽薹前 6 d 的 $4.12 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升至抽薹当天的 $5.36 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 达到差异极显著水平, 然后逐渐下降至抽薹后 6 d 的 $3.72 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 恢复到抽薹前的水平。“满身红”的 CAT 活性水平表现与之相一致, 从抽薹前 6 d 的 $3.58 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升至抽薹当天的 $4.59 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 达到

差异极显著水平, 然后逐渐下降至抽薹后 6 d 的 $3.75 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}$, 恢复到抽薹前的水平。这表明 CAT 活性与抽薹过程相关。比较 2 个不同抽薹特性萝卜的 CAT 活性可发现, 二者差异较小, 提示 CAT 活性水平可能与萝卜的抽薹特性没有直接联系。

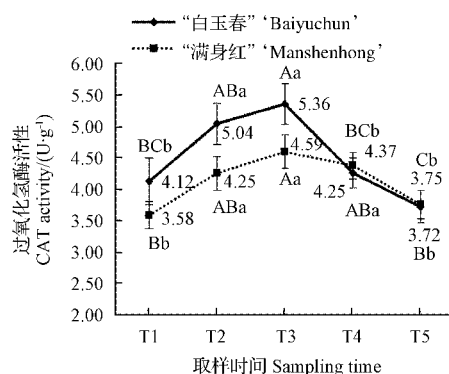


图 4 抽薹过程中 2 个不同品种萝卜过氧化氢酶活性变化

Fig. 4 Changes of CAT activity in a pair of radish varieties during bolting

2.2.5 抽薹萝卜的硝酸还原酶(NR)活性变化 如图 5 所示, NR 活性水平在抽薹前上升, 至抽薹当天达到最高, 然后逐渐下降。其中, “白玉春”的 NR 活性水平由抽薹前 6 d 的 $28.32 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 上升到抽薹当天的 $44.14 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 变化达到差异极显著水平, 而后逐渐下降至抽薹后 6 d 的 $29.03 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 恢复到抽薹前的水平。“满身红”的 NR 活性变化规律与“白玉春”一致, 从抽薹前 6 d 的 $27.12 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 上升到抽薹当天的 $41.04 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 变化达到差异极显著水平, 而后逐渐下降至抽薹后 6 d 的 $26.94 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 恢复到抽薹前的水平。这表明 NR 活性水平的变化与萝卜的抽薹过程密切相关。比较 2 种不同抽薹特性萝卜的 NR 活性水平发现, 总体而言, 耐抽薹的“白

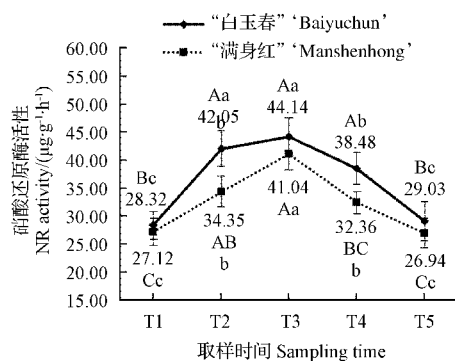


图 5 抽薹过程中 2 个不同品种萝卜硝酸还原酶活性变化

Fig. 5 Changes of NR activity in a pair of radish varieties during bolting

玉春”NR 活性水平比“满身红”要高。抽薹特性的不同可能是导致 2 个品种萝卜的 NR 活性水平产生差异的原因。

3 讨论

植物抽薹是一系列复杂生理生化作用的结果,春化处理引起植物体内的多种代谢途径的改变,从而导致某些物质(包括酶)的水平发生变化,最终导致植物由营养生长转向生殖生长。

在萝卜抽薹过程中,可溶性糖、可溶性蛋白质含量和 CAT、POD、NR 活性水平均受到抽薹的显著影响,表现为抽薹前逐渐升高,抽薹后逐渐降低,这与其他学者^[10,12-13]的研究结果较为一致。比较 2 个抽薹特性完全相反的品种的可溶性糖含量、POD 活性水平可发现,易抽薹品种“满身红”的可溶性糖含量先于耐抽薹品种“白玉春”达到最高水平,而 POD 活性水平则相反,“白玉春”中 POD 活性水平要先于“满身红”达到最高水平,因此,生产实践中,可以把抽薹前的可溶性糖含量、POD 活性水平变化幅度作为指标来预测萝卜的抽薹特性。

参考文献

[1] NISHIJIMAT, KATSURA N, KOSHIOKA M, et al. Role of endogenous gibberellins in cold-induced stem elongation and flowering of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.) [J]. Japan Soc Hortie Sci, 1998, 67:319-324.

- [2] 张美霞,杨延杰,林多. 抽薹进程中萝卜肉质根主要质地指标变化的研究[J]. 北方园艺, 2013(24):6-10.
- [3] 杨勇. 不同耐抽薹性大白菜春化及抽薹前后生理特性的变化[D]. 天津:天津大学, 2007:19-28.
- [4] 宋贤勇,柳李旺,龚义勤,等. 春萝卜抽薹过程中内源激素含量变化分析[J]. 植物研究, 2007(2):182-185.
- [5] 汪精磊,李锡香,邱杨,等. 十字花科蔬菜抽薹开花性状的调控机理和分子育种研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(6):1283-1289.
- [6] YOSHIDA Y, TAKADA N, KODA Y. Isolation and identification of an anti-bolting compound, hexadecatrienoic acid monoglyceride, responsible for inhibition of bolting and maintenance of the leaf rosette in radish plants[J]. Plant and Cell Physiology, 2010, 51(8):1341-1349.
- [7] 杨永岗,张化生,李亚莉,等. 高原夏季胡萝卜肉质根内源激素变化及其与先期抽薹的关系[J]. 园艺学报, 2010(7):1102-1108.
- [8] 陆则权,张金文,任丽蓉,等. 当归抽薹植株生理生化特征分析[J]. 中草药, 2011(11):2326-2329.
- [9] 杜正香,侯瑞贤,李晓峰,等. 不结球白菜抽薹前后的生理生化研究[J]. 上海农业学报, 2011(1):60-64.
- [10] 李盛. 春化处理对萝卜抽薹及开花的影响[D]. 洛阳:河南科技大学, 2014:15-24.
- [11] 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.
- [12] 邓俭英. 萝卜花芽分化形态发育及其生理生化的研究[D]. 杭州:浙江大学, 2003.
- [13] 张秋萍,苏小俊,蔡善亚. 棚室栽培冬春萝卜抗先期抽薹鉴定方法的技术要点[J]. 长江蔬菜, 2016(15):37-38.

Identification of Bolting and Its Relationship With Changes of Physiological Characteristics in *Raphanus sativus* L.

TIAN Shanjun¹, YAN Xi², MENG Fanbo³, ZHANG Wanping¹

(1. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Guizhou Pepper Institute, Guiyang, Guizhou 550006; 3. Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang, Guizhou 550006)

Abstract: A fuzzy comprehensive evaluation was deployed to identify and evaluate the bolting of nine *Raphanus sativus* L. varieties, among which a bolting-resistant variety ‘Baiyuchun’ and a bolting-sensitive variety ‘Manshenhong’ were identified. Furthermore, several physiological characteristics were investigated between two varieties before and after bolting. The results showed that the contents of soluble sugar and proteins, as well as the activities of POD, CAT and NR increased steadily before bolting and reached the maximum level at the time of bolting, whereas decreased after bolting. The data suggested that those physiological characteristics were highly associated with bolting of radish.

Keywords: *Raphanus sativus* L. (radish); bolting; physiological characteristics