

红树莓根系活性物质及内含物质的年变化

刘 海 鹏, 郭 芳, 李 保 国, 张 雪 梅, 齐 国 辉

(河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

摘 要:以2年生“海尔特兹”树莓为试材,研究了红树莓根系一年中保护酶、根系活力、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质含量的变化,旨在了解红树莓根系活性物质及内含物的变化规律。结果表明:超氧化物歧化酶(SOD)活性波动性较大,一年有4次高峰,第1次高峰在根芽萌动期(3月15日)为 $42.22 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,第2次高峰在初生茎生长期(5月15日)为 $41.76 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,第3次高峰在果实初熟期(8月1日)为 $60.20 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,第4次高峰在落叶期(11月1日)为 $51.89 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$;过氧化物酶(POD)活性一年有2次高峰,第1次高峰在初生茎生长期(5月15日)为 $48.73 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,第2次高峰在果实初熟期(8月1日)为 $60.84 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$;根系过氧化氢酶(CAT)活性一年有2次活动高峰,第1次高峰在初生茎生长期(5月15日)为 $21.37 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,第2次高峰在果实初熟期(8月1日)为 $24.18 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$,为全年最高。根系活力一年有3次高峰,第1次在根芽活动期(3月15日)为 $317.22 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 全年最高,第2次高峰在现蕾期(6月15日)为 $261.82 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,第3次高峰在果实末熟期(10月1日)为 $311.95 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。根系可溶性糖含量变化一年有4次高峰,第1次高峰在根芽活动期(3月15日)为 $37.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,第2次高峰在初生茎生长期(5月15日)为 $29.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,第3次高峰在果实初熟期(8月1日)为 $40.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,第4次高峰在果实末熟期(10月1日)为 $37.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。根系淀粉的含量呈先下降后上升的趋势,根芽活动(3月15日)至初生茎生长期(5月1日)根系淀粉含量呈下降趋势,现蕾后(6月15)淀粉含量逐渐上升。根系中可溶性蛋白质含量从根芽活动(3月15日)开始上升,在根芽出土后(4月15日)达到1个高峰,为 $4.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,随后开始下降,初生茎生长期(5月15日)以后根系中的可溶性蛋白质含量呈缓慢上升的趋势。

关键词:红树莓;活性物质;内含物质

中图分类号:S 663.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)17-0011-06

红树莓(*Rubus idaeus* L.)属蔷薇科(Rosaceae)悬钩子属(*Rubus* spp.)多年生落叶灌木,俗称托盘、山莓果、悬钩子,中草药称其为覆盆子^[1]。红树莓^[2]的根、茎、叶均可入药,是当今世界第三代水果中的佼佼者,营养丰

富,其中最突出的营养成分是鞣花酸、树莓酮、花青素、超氧化物歧化酶(SOD)、水杨酸^[3]。研究发现鞣花酸^[4-9]具有明显的抗氧化、抗瘤变、抗诱变及抗突变作用,被认为是最有前景的天然化学抗癌药之一。树莓酮^[10-12]具有抗菌、抗癌、抑制肥胖症,增加皮肤弹性的作用。红树莓不仅被直接用于各类食品加工业,如果汁、果酱、果粉、果酒、糕点等,而且被开发运用于美容、香精、减肥、染料、医药等多种领域^[13]。由于其营养价值较高,红树莓果品供不应求。近年来,红树莓的研究多集中在药用成分的提取、繁殖及栽培技术等方面^[14-16]。因此,该试验

第一作者简介:刘海鹏(1991-),男,河北邯郸人,硕士研究生,研究方向为经济林栽培生理。E-mail:214619800@qq.com

责任作者:李保国(1958-),男,河北武邑人,博士,教授,博士生导师,现主要从事经济林栽培生理等研究工作。E-mail:lbq888@163.com

收稿日期:2016-04-25

fruit shape and brightness, and significantly improve the fruit sugar acid ratio, but also increase the content of K and vitamin C, compared with the market of similar products. At the same time, the effect of the fruit shape index, soluble solids and the hardness of the fruit was also promoted. In summary, the application effect of two kinds of apple quality improvement agent in middle maturity varieties were better, which could improve the fruit flavor, nutrition and storage quality, and promote the fruit coloring. Their effect was closed to the Ti foliar fertilizer, with market promotion value.

Keywords: chitosan; sodium carboxymethyl cellulose; apple; pigmentation; fruit quality

研究了红树莓根系活性物质及内含物质的变化规律,旨在为研究红树莓根蘖发生、根系生长发育及控制根蘖数量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在河北至高点农业科技有限公司红树莓示范基地进行,位于河北省邢台市东侧近郊的南和县贾宋镇南师村,距市区 10 km,属于太行山前平原和冀南冲积平原交接地带,地势平坦,海拔 33~50 m。暖温带半湿润季风气候,大陆性气候明显。年平均气温在 12~14 ℃,无霜期 196 d,年平均降水量为 530 mm。土壤质地为沙壤土,pH 7.5。

1.2 试验材料

供试红树莓品种“海尔特兹”于 2014 年 5 月栽植,行距为 2 m,株距为 0.5 m,选取立地条件、生长状况均一致的红树莓为试材。

1.3 试验方法

于 2015 年 3 月 15 日开始,选择生长状况一致的红树莓“海尔特兹”144 株为试材,每隔 15 d,随机挖取 9 株红树莓的根用冰壶带回实验室,洗净后测超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、根系活力、可溶性糖含量、淀粉含量、可溶性蛋白质含量。

1.4 项目测定

SOD 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光化学还原法^[17],POD 活性测定采用愈创木酚法^[17],CAT 活性测定采用高锰酸钾滴定法^[17],根系活力测定用采用氧化三苯基四氮唑(TTC)法^[18],可溶性糖和淀粉含量测定采用蒽酮比色法^[19],可溶性蛋白质含量测定用考马斯亮蓝 G-250 法^[17],每株重复测定 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同时期“海尔特兹”根系中活性物质的含量变化

2.1.1 不同时期“海尔特兹”根系中 SOD 活性的变化 由图 1 可以看出,根系中 SOD 活性波动性较大,一年中有 4 个高峰,第 1 个高峰在根芽萌动期(3 月 15 日),为 42.22 U·g⁻¹ FW,随后快速下降,根芽出土期(4 月 1 日)SOD 活性为 12.20 U·g⁻¹ FW。根芽活动期,根芽经过休眠后各种生理活动开始,根系代谢活动旺盛,SOD 活性较高。根芽出土期(4 月 1 日)后 SOD 活性逐渐上升,在初生茎生长期(5 月 15 日)达到第 2 次高峰,为 41.76 U·g⁻¹ FW。根芽出土后初生茎快速生长,树体生长量较大,所以 SOD 活性逐渐增强。初生茎生长期(5 月 15 日)后有下降趋势,随后上升在果实初熟期(8 月 1 日)SOD 活性达到第 3 次高峰,为 60.20 U·g⁻¹ FW;5 月下旬,红树莓初生茎达到鼎盛生长时期,生长速度减缓,SOD 活性有所下降,随后树体逐渐进入生殖生

长阶段,随着花芽分化、果实发育等,树体代谢强旺,SOD 活性又迅速增加。果实初熟期(8 月 1 日)至果实末熟期(10 月 1 日),随着果实的大量成熟,根系 SOD 活性下降到 28.53 U·g⁻¹ FW;果实全部成熟后又开始上升,在落叶期(11 月 1 日)根系中 SOD 活性达到第 4 次高峰为 51.89 U·g⁻¹ FW。果实成熟后,由于果实发育消耗养分较多,根系光合营养不足,SOD 活性逐渐下降;果实末熟期,随着叶片衰老凋落,树体养分逐渐回流到根部,根系活动变旺,SOD 活性上升。

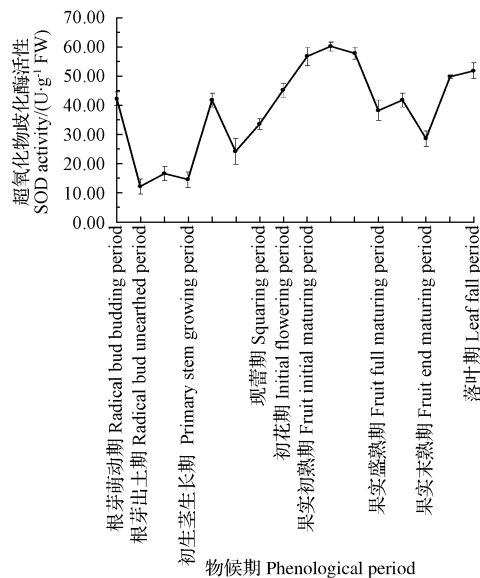


图 1 不同时期“海尔特兹”根系的 SOD 活性

Fig. 1 Root SOD activity of 'Heritage' at different stage

2.1.2 不同时期“海尔特兹”根系中 POD 活性的变化

由图 2 可以看出,一年中 POD 活性有 2 个高峰,根芽萌动期(3 月 15 日)至初生茎生长期(5 月 15 日),POD 活性呈先下降后上升的趋势,第 1 个高峰在初生茎生长期(5 月 15 日),为 48.73 U·g⁻¹ FW,根芽出土后初生茎快速生长,树体生长量较大,所以 POD 活性逐渐上升。初生茎生长后期(6 月 1 日)POD 活性逐渐上升,在果实初熟期(8 月 1 日)达到第 2 次高峰,为 60.84 U·g⁻¹ FW,随着树体的生长发育,逐渐进入生殖生长阶段,树体代谢旺盛,所以 POD 活性在这一时期迅速增加。果实初熟期(8 月 1 日)以后 POD 活性开始下降,由于果实发育消耗养分较大,树体逐渐衰弱,自由基及其衍生物的积累导致酶结构的损伤,所以 POD 活性逐渐下降。

2.1.3 不同时期“海尔特兹”根系中 CAT 活性的变化

由图 3 可知,根系中 CAT 活性一年有 2 次高峰,从根芽活动(3 月 15 日)开始 CAT 活性下降到谷底,根芽出土后(4 月 1 日)CAT 活性开始上升,在初生茎生长期(5 月 15 日)达到第 1 次高峰,为 21.37 U·g⁻¹ FW,随后开始下降,根芽出土(3 月 15 日)至初生茎生长期(5 月 15 日)红树莓代谢旺盛,产生的自由基较多,而 CAT 是植物体

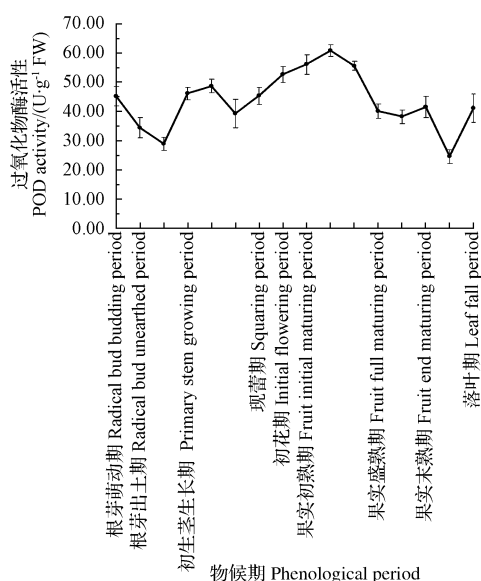


图2 不同时期“海尔特兹”根系的 POD 活性

Fig. 2 Root POD activity of 'Heritage' at different stage

内消除自由基的酶类, SOD 清除超氧化物阴离子自由基形成的过氧化氢经 CAT 进一步分解, 较高的 CAT 活性可以保护树体。CAT 活性在果实初熟期(8 月 1 日)达到第 2 次高峰, 为 $24.18 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 达全年最大值, 随后开始下降。6 月 1 日后, 随着红树莓进入生殖生长阶段, 果实逐渐成熟, 树体代谢旺盛, 所以 CAT 活性在这一时期迅速增加。果实初熟期(8 月 1 日)之后由于树体衰老的不可逆, CAT 活性开始下降。

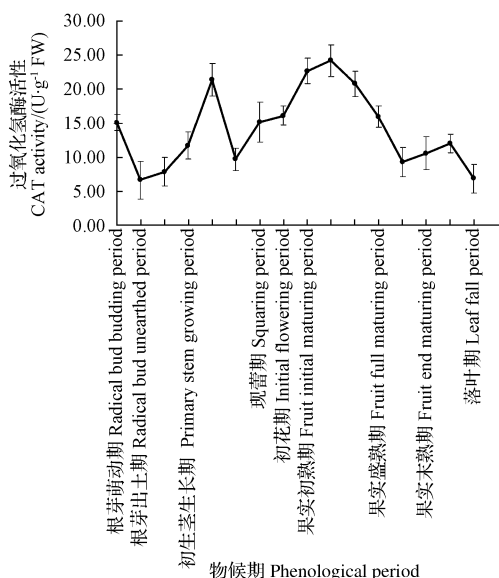


图3 不同时期“海尔特兹”根系的 CAT 活性

Fig. 3 Root CAT activity of 'Heritage' at different stage

2.2 不同时期“海尔特兹”根系活力的变化

图 4 表明, 根系活力一年有 3 次高峰, 第 1 次高峰在根芽萌动期(3 月 15 日), 根系活力为 $317.22 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$,

全年最高, 原因为越冬后根系开始活动, 根系活力较高。根芽出土后, 随着根芽的生长发育, 地上部分和地下部分竞争养分, 根系活力逐渐下降, 5 月 15 日为全年最低, 为 $65.33 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 随后根系活力又开始上升, 第 2 次高峰在现蕾期(6 月 15 日), 根系活力为 $261.82 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 原因可能为地上部分形态已经建成, 根系活动旺盛, 且根蘖开始发生, 所以根系活力较高。现蕾期(6 月 15 日)至果实盛熟期(9 月 1 日)根系活力下降, 原因为树体进入生殖生长时期, 树体的养分主要提供给果实发育, 根系生长变弱。第 3 次高峰在果实末熟期(10 月 1 日), 根系活力为 $311.95 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 原因为红树莓进入果实末熟期以后, 根系经过一定的休养, 树体养分逐渐回流到根部, 根系再次生长, 所以根系活力逐渐增强, 落叶期根系逐渐进入休眠, 根系活力减弱。

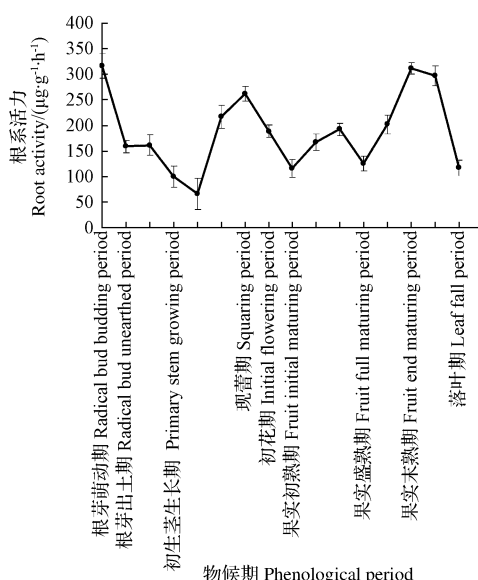


图4 不同时期“海尔特兹”的根系活力

Fig. 4 Root activity of 'Heritage' at different stage

2.3 不同时期“海尔特兹”根系内含物质的变化

2.3.1 不同时期“海尔特兹”根系中可溶性糖含量的变化 由图 5 可知, 一年中根系可溶性糖的含量有 4 次高峰, 3 次低谷, 第 1 次高峰在根芽萌动期(3 月 15 日), 为 $37.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 随着根芽萌动根系内贮藏物不断分解, 根系中可溶性糖含量相对较高。第 1 次低谷在根芽出土期(4 月 15 日)为 $13.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 随着根芽的生长发育, 根系中养分逐渐被消耗, 所以可溶性糖含量开始降低。第 2 次高峰在初生茎生长期(5 月 15 日), 为 $29.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 此阶段地上部分迅速生长, 随着地上部分形态逐渐建成, 叶片光合作用逐渐增强, 可溶性糖含量逐渐上升。第 2 次低谷在初花期(7 月 15 日)为 $23.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 随着树体进入生殖生长阶段, 树体现蕾及开花消耗养分, 导致根系可溶性糖含量下降。第 3 次高峰在果实初熟期

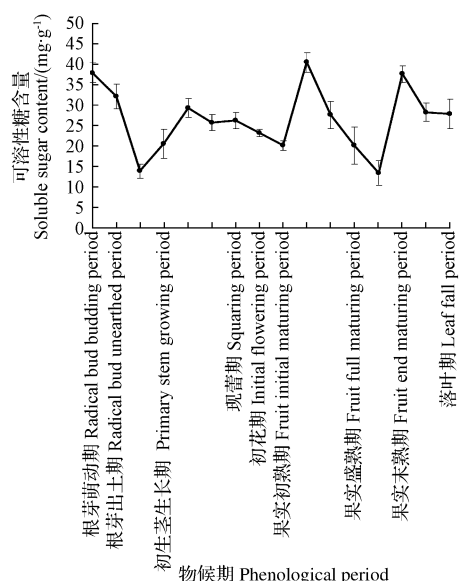


图5 不同时期“海尔特兹”根系中的可溶性糖含量

Fig. 5 Root soluble sugar content of 'Heritage' at different stage

(8月1日),为 $40.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,随后迅速下降,第3次低谷在果实盛熟期(9月15日),为 $13.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。第4次高峰在果实末熟期(10月1日)为 $37.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,原因为红树莓已经进入结果期后,果实细胞生理活动旺盛,需要充足的养分,导致根系内可溶性糖含量下降,果实末熟期果实的细胞生理活动减弱,树体养分消耗减少,随着叶片逐渐衰老,养分逐渐回流到根部,所以可溶性糖含量逐渐上升。

2.3.2 不同时期“海尔特兹”根系中的淀粉含量变化

图6表明,根系中淀粉含量在根芽萌动期(3月15日)至

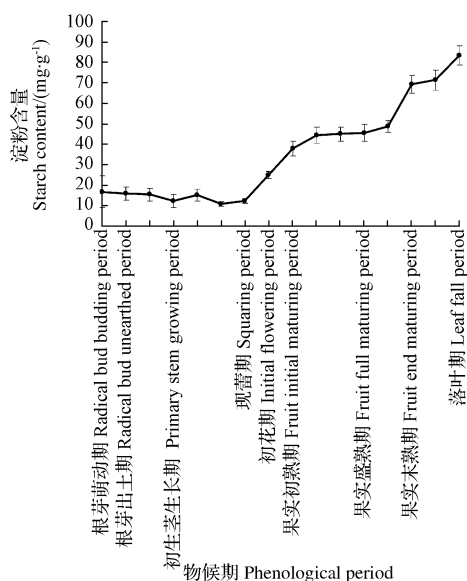


图6 不同时期“海尔特兹”根系中的淀粉含量

Fig. 6 Root starch content of 'Heritage' at different stage

初生茎生长期(5月15日)呈下降趋势,根系内淀粉含量由 $16.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 下降到 $15.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,该时期为根芽出土及初生茎生长时期,此时的根系内贮藏的淀粉分解为简单的糖类供根芽生长所需,所以淀粉含量下降。现蕾期(6月15日)至果实初熟期(8月1日)根系淀粉含量迅速上升,根系内淀粉含量由 $12.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升到 $44.4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,随着地上部分形态建成,树体叶片光合作用逐渐增加,根系淀粉含量不断增加。果实初熟期(8月1日)至果实末熟期(10月1日)根系中淀粉含量变化较小,平均为 $45 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,是全年最高值的 53.89% ,此时为树体进入结果期,淀粉主要积累在果实里,所以根系中淀粉含量变化较平稳。果实末熟期(10月1日)后根系中淀粉含量迅速上升,在11月1日达到最大值,为 $83.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,生殖生长后期,叶片逐渐衰老,养分回流到根部,所以淀粉含量迅速增加。

2.3.3 不同时期“海尔特兹”根系中可溶性蛋白质含量的变化 由图7可以看出,根系中可溶性蛋白质含量总体上呈波动上升的趋势,最小值在根芽萌动期(3月15日),为 $3.29 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,最大值在落叶期(10月15日),为 $5.82 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。根系中可溶性蛋白质含量从根芽萌动后(3月15日)开始上升,在根芽出土时期(4月15日)达到1个高峰,为 $4.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,随后开始迅速下降。此时期为根芽萌动及出土时期,根系内贮藏的物质不断分解,所以可溶性蛋白质含量不断增加。根芽出土(4月15日)至初生茎生长期(5月15日)呈下降趋势,根系内可溶性蛋白质含量由 $4.91 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 下降到 $3.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,此时期为地上部分迅速生长时期,主要以地上部分形态建成

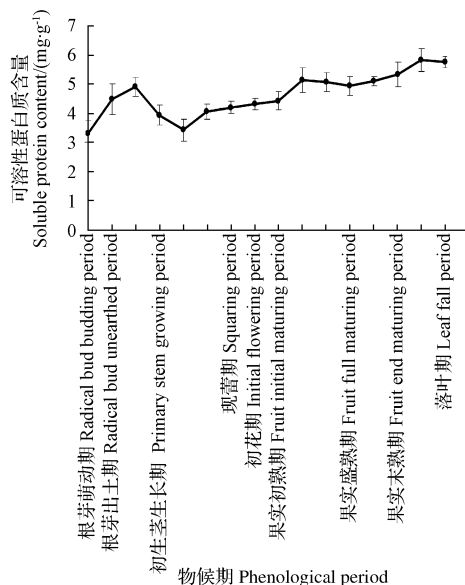


图7 不同时期“海尔特兹”根系中的可溶性蛋白质含量

Fig. 7 Root soluble protein content of 'Heritage' at different stage

为主,由于根芽出土时根系内可溶性蛋白质的消耗,又因地上部分和地下部分竞争养分,所以根系可溶性蛋白质呈下降趋势。初生茎生长期(5月15日)至果实初熟期(8月1日)根系中的可溶性蛋白质呈缓慢上升的趋势,根系内可溶性蛋白质含量由 $3.42 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 上升到 $5.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,地上部分形态建成后,树体叶片不断合成有机物,根系内可溶性蛋白质含量增加。果实初熟期(8月1日)至果实盛熟期(9月1日)根系中的可溶性蛋白质含量有小幅下降,随后在落叶期到达最大值为 $5.82 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

3 结论与讨论

该试验表明,SOD活性的波动性较大,一年有4次高峰,第1次高峰在根芽萌动期(3月15日),第2次高峰在初生茎生长期(5月15日),第3次高峰在果实初熟期(8月1日),第4次高峰在落叶期(11月1日);POD活性一年有2次高峰,第1次高峰在初生茎生长期(5月15日),第2次高峰在果实初熟期(8月1日);根系中CAT活性一年有2次活动高峰,第1次高峰在初生茎生长期(5月15日),第2次高峰在果实初熟期(8月1日),为全年最高。SOD、POD和CAT^[20-22]是植物体内重要的保护酶,SOD可以将植物正常生理活动中产生的 O_2^- 代谢为 H_2O_2 ,POD和CAT将 H_2O_2 代谢为 H_2O 。该研究发现,SOD、POD及CAT3种活性物质含量最大值出现在8月,吴沿友等^[23]对芦苇一年中根系保护酶的研究认为,保护酶变化呈先上升后下降的规律,与该研究规律一致,但是芦苇根系保护酶的含量的最大值在硬化期(10月)。从POD、CAT和SOD的变化趋势分析,POD、CAT与SOD在树体内是协同作用的。根芽活动期(3月15日)根系内SOD、POD及CAT3种活性物质含量较高,姚延栋^[24]从抗寒的角度对华北落叶松越冬后SOD活性的研究认为,经过越冬后,树体内各种生理活动开始发生变化,各种组织的细胞膜极易受低温的伤害,这种变化将导致植物内活性氧的生成与自动清除动态失衡,从而对树体构成氧化胁迫,所以SOD活性较高。根芽活动(3月15日)至初生茎生长期(5月15日),红树莓处于营养生长期,体内的活性物质含量相对较少,但波动较大,原因可能为营养供给与代谢失衡导致;6—8月,红树莓逐渐由营养生长向生殖生长转化,树体内活性物质逐渐增加,张彦卿^[25]研究认为花芽分化时期保护酶活性上升。8月之后,红树莓处于生殖生长中后期,果实逐渐趋于成熟、树体衰老,果树体内自由基及其衍生物的含量不断增加,超过了自身防御系统的清除能力,并且这些积累的自由基及其衍生物能够导致酶结构的损伤,从而使酶活性降低。朱昆仑等^[26]研究认为,随生育进程的推进,玉米穗位叶的SOD活性呈现单峰曲线变化,抽雄后14d达到最大值,之后逐渐下降。

红树莓根系活力一年有3次高峰,第1次在根芽活

动期(3月15日),根系活力为全年最高,第2次高峰在现蕾期(6月15日),第3次高峰在果实末熟期(10月1日)。越冬后根系开始活动,代谢旺盛,根系活力较高。现蕾期(6月15日)红树莓地上部分形态已经建成,根系营养充足,且根系有分蘖发生,所以根系活力较高,常丽^[27]研究小麦不同生育期根系活力的变化,结果表明小麦分蘖期根系活力最高;果实末熟期根系活力较高,因为红树莓已经进入结果后期,营养消耗减少,部分养分回流根部,促进根系发育,所以根系活力较强,有研究认为,果实采收后根系吸收能力逐渐增强,此时施肥有利于根系养分吸收和积累^[28]。

红树莓根系可溶性糖含量一年有4次高峰,第1次高峰在根芽活动期(3月),第2次高峰在初生茎生长期(5月),第3次高峰在果实初熟期(8月),第4次高峰在果实末熟期(10月)。根系中淀粉含量呈先下降后上升的趋势,根芽活动期(3月15日)至初生茎生长期(5月1日)根系淀粉含量呈下降趋势,5月1日之后淀粉含量迅速上升。糖类物质在植物生长发育过程中的作用主要是提供能量和参与形态建成,糖类化合物的积累与植物体生长发育密切相关^[29]。根系中可溶性蛋白质含量从根芽活动(3月15日)开始上升,在根芽出土期(4月15日)达到1个高峰,随后开始迅速下降,原因可能为地上部分形态建成时期需要消耗大量的蛋白质。5月15日以后根系中的可溶性蛋白质含量呈缓慢上升的趋势,随着红树莓叶片的功能健全,体内的可溶性蛋白质逐渐增加。左慧等^[30]对石蒜的研究结果表明,在石蒜的生长发育过程中淀粉、可溶性蛋白质呈逐渐积累的趋势,与该研究结论一致。

参考文献

- [1] 张清华,王彦辉,郭浩. 树莓栽培实用技术[M]. 北京:中国林业出版社,2013:4.
- [2] 江苏新医学院. 中药大辞典[M]. 上海:上海人民出版社,1997:378,824,2699.
- [3] 赵文琦,曲长福,王翠华,等. 树莓的营养保健价值与市场前景浅析[J]. 北方园艺,2007(6):114-115.
- [4] 刘建华,张志军,李淑芳. 树莓中功效成分的开发浅论[J]. 食品科学,2004,25(10):371.
- [5] 刘艳,熊伟,田吉,等. 可变波长同时测定泸州龙眼没食子酸和鞣花酸的含量[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,18(6):84.
- [6] 王妙飞,程庚金生,张道英,等. 水解法制备五倍子鞣花酸的研究[J]. 食品工业科技,2010,31(2):233.
- [7] 刘振平,陈祥贵,杨潇,等. RP-HPLC同时测定石榴皮提取物中的3种鞣质成分[J]. 中国中药杂志,2011,36(19):2645.
- [8] 张目,朱少娟,严泽民,等. HPLC测定地榆中没食子酸和鞣花酸的含量[J]. 现代科学仪器,2009,10(5):69.
- [9] 张华,裴桂珍,李桂华,等. 鞣花酸片剂的制备及其含量测定[J]. 中国实验方剂学杂志,2012,18(13):40.
- [10] 黎庆涛,王远辉,王丽. 树莓功能因子研究进展[J]. 中国食品添加剂,2011(2):173.

- [11] 叶晓珂. 树莓叶黄酮类活性成分的分离与鉴定研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2011.
- [12] 于洋. 树莓叶果中黄酮类化合物含量及其生理活性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [13] 张海军, 王彦辉, 张清华, 等. 国内外树莓产业发展现状研究[J]. 林业实用技术, 2010(10): 54-56.
- [14] 贺立恒. 美国红树莓和黑莓脱毒快繁及工厂化育苗研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [15] 王强, Tulameen. 树莓工厂化高效育苗技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [16] 徐迎春, 张利利, 张清华, 等. 摘心修剪对秋果型红树莓延后栽培影响[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(10): 50-55.
- [17] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [18] 山东农学院, 西北农学院. 植物生理学实验指导[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1980: 187-190.
- [19] 邹琦. 植物生理生化试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 53-56.
- [20] ALONSO R, ELVIRA S, CASTILLO F J, et al. Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*[J]. Pl Cell Env, 2001, 24: 905-916.
- [21] CALA T A, YUD A, KBARRENO E. Chlorophyll a fluorescence Kan-tioxidant enzymes and lipid peroxidation in tomato in response to ozone and benomyl[J]. Environ Pollut, 2001, 115: 283-289.
- [22] YOSHIDA M, NOUCHI Y, TOYAMA S. Studies on the role of active oxygen in ozone injury to plant cells generation of active oxygen in rice protoplast exposed to ozone[J]. Plant Sci, 1994, 95(2): 197-205.
- [23] 吴沿友, 阙小峰. 北固山湿地优势植物氧化酶及环境适应性的研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2): 427-431.
- [24] 姚延涛. 华北落叶松营养元素及酶活性与抗逆性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [25] 张彦卿. 黄连木雌花芽分化研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.
- [26] 朱昆仑, 靳立斌, 董树亭, 等. 综合农艺管理对夏玉米叶片衰老特性的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(15): 2949-2959.
- [27] 常丽丽. 小麦根系发育与生理功能及籽粒品质的边际效应分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.
- [28] 赵莉. 桃树需肥特性及科学施肥技术[J]. 西北园艺(果树), 2015(4): 38-40.
- [29] 丛建民, 沈海龙, 李玉花, 等. 剑水曲柳体胚发生过程中不同状态类型外植体的生理生化状态[J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(1): 48-52.
- [30] 左慧, 张日清, 杨志玲, 等. 石蒜球茎生物学性状及营养成分年变化规律[J]. 江西农业大学学报, 2007(4): 598-602.

Annual Change of Active Substances and Embedded Material in Red Raspberry Root

LIU Haipeng, GUO Fang, LI Baoguo, ZHANG Xuemei, QI Guohui
(College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000)

Abstract: Two-year-old red raspberry of 'Heritage' was used as test material, the change of root protection enzyme, root activity, soluble sugar, starch and soluble protein of red raspberry in a year were studied, in order to explore the regularity of active substances and embedded material of red raspberry root. The results showed that the activity of SOD was volatile, there was four peaks in a year, the first peak in the sprouting period of root bud (March 15th) was 42.22 U · g⁻¹ FW, the second peak in the primary stem growth period (May 15th) was 41.76 U · g⁻¹ FW, the third peak in the preliminary of the fruit maturity (August 1st) was 60.20 U · g⁻¹ FW, the fourth peak in the deciduous period (November 1st) was 51.89 U · g⁻¹ FW. The activity of POD had two peaks in a year, the first peak in the primary stem growth period (May 15th) was 48.73 U · g⁻¹ FW, the second peak in the preliminary of the fruit maturity (August 1st) was 60.84 U · g⁻¹ FW. The activity of CAT had two peaks in a year, the first peak in the primary stem growth period (May 15th) was 21.37 U · g⁻¹ FW, the second peak in the preliminary of the fruit maturity (August 1st) was 24.18 U · g⁻¹ FW. The root activity had three peaks in a year, the first peak in the sprouting period of root bud (March 15th) was 317.22 μg · g⁻¹ · h⁻¹, the second peak at squaring stage (June 15th) was 261.82 μg · g⁻¹ · h⁻¹, the third peak in the end of the fruit maturity (October 1st) was 311.95 μg · g⁻¹ · h⁻¹. The soluble sugar of root had four peaks in a year, the first peak in the sprouting period of root bud (March 15th) was 37.9 mg · g⁻¹, the second peak in the primary stem growth period (May 15th) was 29.3 mg · g⁻¹, the third peak in the preliminary of the fruit maturity (August 1st) was 40.5 mg · g⁻¹, the fourth peak in the deciduous period (November 1st) was 37.6 mg · g⁻¹. The content of starch decreased first and then increased, from the sprouting period of root bud (March 15th) to the primary stem growth period (May 1st), we could find out the content of starch first decreased and increased at squaring stage (June 15th). The content of soluble protein increased in the sprouting period of root bud (March 15th) and reached a peak in the root bud grown from the soil, the value was 4.91 mg · g⁻¹. Soluble protein in roots showed a slow upward trend after the primary stem growth period (May 15th).

Keywords: red raspberry; active substance; containing substance