

苹果一年生枝条糖和水含量变化规律及其与温度相关性研究

邵 静¹, 李粤渤¹, 王珊珊¹, 顾云娇^{1,2}, 冯 闯^{1,2}, 包振龙¹, 赵晨辉¹, 李红莲¹, 宋宏伟¹, 梁英海^{1*}, 张冰冰^{1*}

(1. 吉林省农业科学院果树研究所, 吉林 公主岭 136100; 2. 延边大学, 吉林 延吉 133002)

摘 要: 本试验以4份苹果资源为试材, 测定不同时期一年生休眠枝糖和水含量, 并对可溶性糖、束缚水与自由水比值与温度的相关性进行分析, 为苹果资源抗寒性评价、栽培管理和安全越冬技术措施提供理论依据。研究结果表明: 从1月下旬至5月上旬, 枝条可溶性糖含量呈先降低后升高的趋势; 同一资源枝条的总含水量基本恒定, 束缚水含量及束缚水与自由水比值呈先升高后降低趋势, 而自由水含量呈先降低再升高的趋势; 通过皮尔森相关系数可知, 可溶性糖含量、束缚水与自由水比值与外界温度呈负相关, 与日温差呈正相关, 因此休眠期苹果一年生枝条可溶性糖和水含量可反映枝条受到低温胁迫状态, 相关数据可为科学评价苹果抗寒性提供参考。

关键词: 苹果; 可溶性糖; 总水; 束缚水; 自由水; 温度

中图分类号: S661.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)03-0065-05

Study on the Variation of Sugar and Water in Apple Annual Branch and Their Correlation with Temperature

SHAO Jing¹, LI Yuebo¹, WANG Shanshan¹, GU Yunjiao^{1,2}, FENG Chuang^{1,2}, BAO Zhenlong¹, ZHAO Chenhui¹, LI Honglian¹, SONG Hongwei¹, LIANG Yinghai^{1*}, ZHANG Bingbing^{1*}

(1. Pomology Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; 2. Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: In this experiment, 4 apple resources were used as test materials to determine the contents of sugar and water in dormant branches of one-year-old apple trees in different periods. The correlation of temperature was analyzed to provide theoretical basis for cold resistance evaluation, cultivation management and safe overwintering techniques of apple resources. The results showed that from late January to early May, the soluble sugar content of branches decreased first and then increased. The total water content of the same resource was basically constant, the bound water content and the ratio of bound water to free water showed a trend of first decreased and then increased. The free water content showed a trend of first decreased and then increased. Pearson correlation co-efficient showed that the soluble sugar content, the ratio of bound water to free water were negatively correlated with the external temperature and positively correlated with the daily temperature difference. Therefore, the contents of soluble sugar and water in apple annual branches during dormancy period could reflect the effects of water and soluble sugar on the growth of apple branches. The data can provide references for scientific evaluation of cold resistance of apple.

Key words: Apple; Soluble sugar; Total water; Bound water; Free water; Temperature

收稿日期: 2018-10-31

基金项目: 吉林省农业科技创新工程杰出青年项目(CXGC2017JQ020、111821301354052004)

作者简介: 邵 静(1987-), 女, 研究实习员, 硕士, 主要从事苹果育种与分子生物学研究。

通讯作者: 梁英海, 男, 博士, 副研究员, E-mail: yinghailiang365@sina.com

张冰冰, 女, 博士, 研究员, E-mail: Zbb4005@163.com

苹果是蔷薇科苹果属多年生落叶果树,因种类和品种不同,其抗寒性存在很大差异^[1],受不同地区不同气候影响,我国苹果生产经常遭受不同程度的冻害,特别是在气温回升的2月份以后,昼夜温差变化较大,树体已完成生理休眠期,处于被迫休眠状态,抵抗外界环境的能力明显减弱,易发生冻害^[2],因此抗寒性是苹果在东北地区能否安全越冬及正常生长结果的关键因素。

有研究指出,葡萄^[3-4]、梨^[5]、核桃^[6]、石榴^[7]等果树受到低温胁迫时,可溶性糖积累,从而提高细胞的渗透浓度,降低水势,增加保水能力,降低冰点,提高抗寒性。此外,糖还为淀粉和脂肪等物质的合成提供代谢底物^[8],这些物质生理变化与果树抗寒性强弱、能否安全越冬密切相关。植物组织水分以束缚水和自由水两种状态存在^[9],两者所占比重可以直接反映植物低温胁迫生理状态,与抗寒性密切相关,束缚水/自由水比值越高,抗寒性越强,反之,抗寒性差^[10-11]。近年来,很多科研工作者致力于果树抗寒性鉴定与评价,因为果树可溶性糖含量、水含量与果树抗寒性密切相关,本文研究苹果被迫休眠期枝条可溶性糖和水分状况变化规律,及其与环境因子的互作关系,为苹果资源抗寒性精准鉴定和栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

以山丁子、红太平、金红和塞外红4份苹果(5年生)资源一年生枝条为供试材料,取自国家果树种质寒地果树资源圃(公主岭)。4份资源抗寒性由强到弱依次为山丁子、红太平、金红和塞外红。每份资源选取树势一致的3株树,在树体外围向阳面选取生长健壮、着生部位及长势一致的一年生枝条。将采集的枝条迅速带回实验室进行测定。

1.2 取样时间

自2018年1月29日起,每隔15 d取样一次,取样时间分别为:2018年1月29日、2月12日、2月26日、3月14日、3月29日、4月14日和5月4日。

1.3 气象资料数据

气象资料来源于国家果树种质寒地果树资源圃(公主岭)小型气象站(CR-1000,北京渠道科学器材有限公司)。以1月14日为起点至5月4日,以15 d为气象数据单位,统计分析空气相对湿度、日平均气温、日最高气温、日最低气温以及昼

夜温差等气象因子。由于2017/2018年公主岭地区遭遇极端低温天气(1月下旬极端低温达-37℃),有助于研究苹果枝条可溶性糖、水与低温胁迫之间互作效应。

1.4 方法

1.4.1 枝条可溶性糖含量测定与计算

可溶性糖测定方法参照蒽酮比色法^[12]。将一年生枝条剪成0.3 mm薄片,称取0.5 g放入大试管中,加入15 mL蒸馏水,沸水浴20 min,取出冷却至室温,过滤入100 mL容量瓶中,用蒸馏水反复冲洗残渣,定容。取待测液1 mL加蒽酮溶液5 mL,沸水浴10 min,取出冷却至室温,在620 nm波长下测定吸光度值,重复3次。可溶性糖含量计算公式:

$$\text{可溶性糖含量}(\%) = \frac{C \times V_1 \times n}{V_T \times W \times 10^6} \times 100$$

C —标准方程求得糖量(μg); V_1 —吸取样品的体积(mL); n —稀释倍数; V_T —提取液体积(mL); W —样品重量(g)。

1.4.2 枝条水含量测定方法

枝条总含水量测定采用烘干法;自由水含量测定采用马林契克法,束缚水含量为总含水量与自由水含量之差^[13],计算公式如下:

$$\text{总含水量}(\%) = \frac{m_f - m_d}{m_f} \times 100\%$$

m_f —样品鲜重; m_d —样品干重。

自由水含量(%) =

$$\frac{\text{糖液量}(g) [\text{糖液原浓度}(\%) - \text{浸提后糖液浓度}(\%)]}{\text{浸提后糖浓度}(\%) \times \text{组织鲜重}(g)} \times 100\%$$

$$\text{束缚水含量}(\%) = \text{总含水量}(\%) - \text{自由水含量}(\%)$$

1.5 统计学分析

应用Microsoft Excel软件和SPSS 22.0统计软件对数据进行整理、统计分析及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 苹果资源枝条抗寒指标生理变化

2.1.1 苹果一年生休眠枝可溶性糖含量变化

由图1可知,从1月末至4月末,苹果一年生枝条可溶性糖含量呈逐渐降低趋势,直至春季树体萌动、可重新吸收养分之前,可溶性糖含量降低至最低点,平均降低1.23%~3.11%。其中,在1月末至2月末,苹果枝条可溶性糖含量维持在较高水平,并有先降低后升高的趋势,以抗寒性最强的山丁子最为明显,可溶性糖含量由3.82%降

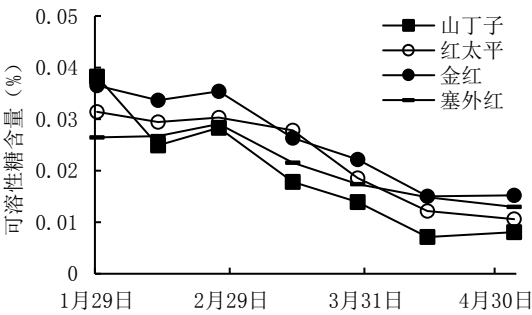


图1 苹果枝条可溶性糖含量变化规律

至 2.49%, 又升至 2.83%, 因此 1 月末至 2 月末期间, 枝条积极响应低温胁迫, 表现出可溶性糖发生明显变化。

4 份苹果供试材料的枝条可溶性糖含量变化

差异与其抗寒性也密切相关, 如最为抗寒的山丁子可溶性糖含量变化幅度最大; 在苹果枝条低温胁迫模拟试验中, 应考虑取样时期的枝条营养状态, 研究寒地苹果被迫休眠枝条抗寒能力以 1 月中下旬取样为宜。

2.1.2 不同时期苹果枝条中水分状况变化规律

2.1.2.1 不同时期苹果资源枝条中总水含量变化

由表 1 可知, 1 月末至 4 月中旬, 4 份供试材料枝条总水含量维持在 38.64% ~ 48.58%; 单个供试材料总水含量未发生显著变化。不同苹果资源间以抗寒性强的山丁子、红太平总含水量较高, 平均分别为 46.63%、43.22%, 金红和塞外红次之, 平均分别为 41.09%、40.81%。5 月初, 苹果枝条含水量明显升高, 苹果根系开始吸收水分。

表 1 不同苹果资源枝条水分状况比较

日期	山丁子				红太平				金红				塞外红			
	总水 (%)	自由 水 (%)	束缚水 (%)	束缚 水/自 由水	总水 (%)	自由 水 (%)	束缚水 (%)	束缚 水/自 由水	总水 (%)	自由 水 (%)	束缚水 (%)	束缚 水/自 由水	总水 (%)	自由水 (%)	束缚水 (%)	束缚 水/自 由水
1 月 29 日	47.08	19.70	27.39	1.39	43.76	18.48	25.28	1.37	40.87	17.63	23.24	1.31	41.72	18.73	22.99	1.23
2 月 12 日	44.39	14.61	29.77	2.08	42.43	13.81	28.62	2.16	41.20	14.90	26.30	1.80	40.91	13.46	27.45	2.06
2 月 26 日	45.10	15.75	29.35	1.86	43.88	17.91	25.96	1.45	38.64	18.97	20.24	1.07	38.81	15.87	22.94	1.45
3 月 14 日	47.94	19.89	28.05	1.42	43.03	18.61	24.42	1.31	42.09	19.12	22.98	1.22	40.86	19.15	21.71	1.14
3 月 29 日	48.58	21.56	27.02	1.26	44.62	21.19	23.43	1.11	42.09	21.66	20.43	0.95	41.45	19.67	21.78	1.11
4 月 14 日	46.69	21.98	24.71	1.13	41.62	21.29	20.33	0.96	41.11	20.20	20.92	1.05	41.13	20.97	20.16	0.97
5 月 4 日	50.99	27.39	23.59	0.86	49.35	28.19	21.16	0.75	44.38	25.23	19.15	0.76	46.61	26.21	20.40	0.78

2.1.2.2 不同时期苹果资源枝条中自由水、束缚水的变化

由表 1 可知, 4 份供试苹果资源枝条束缚水含量、束缚水/自由水比值呈先升高后降低的趋势, 2 月中旬束缚水含量、束缚水/自由水比值达到最高值, 山丁子、红太平、金红、塞外红束缚水/自由水比值依次为 2.08、2.16、1.8、2.06。1 月下旬至 2 月中旬, 外界温度较低, 日平均最低温度在 -27.13℃, 因此, 束缚水含量升高, 是苹果响应低温胁迫的重要生理反应, 使原生质粘性增大, 代谢降低, 提高抗寒性。2 月中旬至 5 月初, 束缚水含量逐渐降低。

自由水变化与束缚水相反, 呈先降低后升高的趋势, 2 月下旬降至最低, 2 月下旬至 5 月初, 自由水含量逐渐升高, 即随温度升高, 被迫休眠逐渐解除, 树体开始萌动, 代谢活动逐渐增强。

由于不同时期(1 月末至 5 月初)苹果枝条水

分含量存在差异, 在苹果枝条低温胁迫模拟试验中, 取样时期枝条水分应处于良好状态, 防止束缚水含量、束缚水/自由水比值升高后取样; 同时, 苹果被迫休眠期枝条水分变化规律与抗寒性密切相关, 苹果树体休眠之前灌封冻水, 对苹果安全越冬、防止春季生理干旱抽条等具有重要意义。

2.2 苹果枝条抗寒指标与环境因子相关性分析

2.2.1 主要气候条件分析

2017/2018 年度, 公主岭地区遭遇极端低温天气, 但本研究中供试材料未观察到冻害。根据气象站数据, 对采样期间日平均气温、日极端最低气温、日极端最高气温、昼夜温差等进行统计分析。如图 2 所示, 公主岭地区苹果休眠期日平均气温、日极端最高气温、日极端最低气温呈逐渐升高趋势, 昼夜温差逐渐降低, 1 月下旬至 2 月中旬, 外界温度较低, 日平均最低温度在 -27.13℃ ~ -23.44℃。

2.2.2 可溶性糖含量与环境因子相关性分析

由表 2 可知, 苹果枝条可溶性糖含量与日平

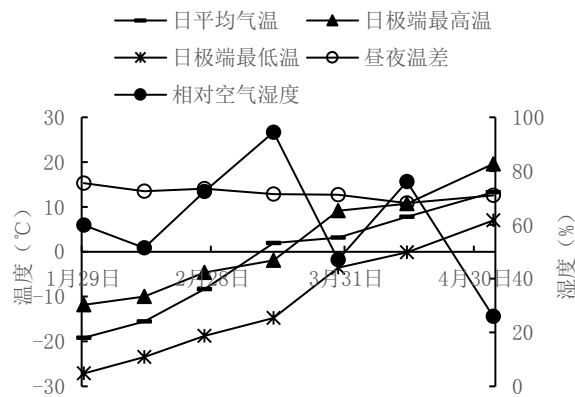


图2 苹果被迫休眠期气象因子变化规律

均气温、日极端最高气温、日极端最低气温在0.01水平呈显著负相关,除红太平与日平均气温的相关系数为0.885外,其余3份苹果资源枝条可溶性糖与日平均气温相关系数均在0.906以上。且4份供试材料可溶性糖含量与日极端最高温、日极端最低温相关系数均在0.903以上,其中与日极端最低温相关系数高于日极端最高温相关系数,说明

极端低温对苹果可溶性糖含量变化影响略大。

苹果枝条可溶性糖含量与昼夜温差呈正相关,山丁子枝条可溶性糖与昼夜温差在0.01水平正相关,相关系数为0.94,其他3份资源在0.05水平正相关,相关系数在0.785以上。

2.2.3 枝条组织水分与环境因子相关分析

由表3可知,苹果枝条束缚水/自由水比值与日平均气温、日极端最高气温、日极端最低气温呈负相关,红太平与日平均气温相关系数最高,为0.804,金红(0.773)次之。除塞外红(0.755)外,其余3份资源束缚水/自由水比值与日极端高温相关系数均大于0.806。4份资源与日极端低温相关系数均小于日极端高温相关系数,且只有山丁子、红太平、金红在0.05水平显著,由此可知,苹果枝条束缚水/自由水比值受日极端高温影响稍大。

束缚水/自由水比值与昼夜温差呈正相关,但相关性较小,未达到显著水平,相关系数在0.363~0.467,因此可以推断苹果枝条中束缚水/自由

表2 枝条可溶性糖与环境因子相关性

品种	日平均气温	日极端最高气温	日极端最低气温	昼夜温差
山丁子	-0.935**	-0.903**	-0.93**	0.94**
红太平	-0.885**	-0.96**	-0.968**	0.802*
金红	-0.943**	-0.943**	-0.96**	0.877*
塞外红	-0.906**	-0.935**	-0.943**	0.785*

注:枝条可溶性糖与环境因子相关性分析采用Person相关系数表示。**表示相关性在0.01水平上显著;*表示相关性在0.05水平上显著

表3 枝条束缚水/自由水比值与环境因子相关性分析

品种	日平均气温	日极端最高气温	日极端最低气温	昼夜温差
山丁子	-0.766*	-0.809*	-0.793*	0.467
红太平	-0.804*	-0.826*	-0.808*	0.467
金红	-0.773*	-0.806*	-0.779*	0.363
塞外红	-0.761*	-0.755*	-0.737	0.411

注:枝条组织束缚水/自由水比值与环境因子相关系分析采用Person相关系数表示。*表示相关性在0.05水平上显著

水比值与昼夜温差不相关。

3 讨论与结论

3.1 苹果枝条可溶性糖含量与抗寒性评价

由于植物可溶性糖与其越冬抗寒性密切相关^[14-15],抗寒性鉴定取样时期应考虑枝条可溶性糖含量等生理状态,达到应用一定方法,准确反映取样时期的抗寒能力。研究结果表明,被迫休眠期苹果枝条可溶性糖含量与外界温度呈负相关,即苹果枝条可溶性糖含量随外界温度降低而逐渐升高,因此根据本研究结果可知苹果一年生

枝条可溶性糖含量可作为研究枝条抗寒性的参考,但不能直接用其作为判断品种间抗寒性强弱的标准,这与苏李维等研究结果一致^[16]。

不同苹果资源枝条的可溶性糖含量不同,但都与外界温度呈负相关,温度越低,枝条可溶性糖含量越高,并且可溶性糖含量变化幅度与品种抗寒性相关,抗寒性强的品种可溶性糖含量变化幅度大,而抗寒性弱的品种可溶性糖含量变化幅度小,这与曹建东等^[14]研究结果一致。枝条可溶性糖含量与昼夜温差呈正相关,昼夜温差越大,枝条可溶性糖含量增加越多,昼夜温差降低,可

溶性糖含量减少,这可能与枝条组织内糖转化相关,但尚未见相关报道,有待进一步深入研究。

3.2 枝条组织水分状况与抗寒性评价

梨树是否抗寒以束缚水/自由水比值1为界限,当比值大于1时,该品种抗寒性强^[17-18]。陈佰鸿等^[10]研究结果表明,以束缚水与自由水比值为单一指标评价葡萄离体枝条的抗寒性是可行的。

在植物抗寒锻炼过程中,随温度降低,束缚水含量增加,自由水含量降低,细胞内不易结冰,冰点降低,植物抗寒性提高^[19]。本研究结果表明,苹果枝条束缚水/自由水比值与外界温度呈负相关,这与休眠期一致,因此可以推断束缚水/自由水比值可以用于休眠期枝条抗寒性研究,这与Lee等^[17]研究一致。

本研究结果表明,抗寒性强的苹果资源束缚水/自由水比值高,抗寒性弱的资源比值低,这与李玉梅等^[18]、陈佰鸿等^[10]研究结果一致。

综上所述,苹果一年生枝条糖和水含量随外界温度变化呈现规律性变化,可反映枝条受到低温胁迫状态,相关数据可为科学评价苹果抗寒性提供参考。由于可溶性糖含量、束缚水/自由水与外界环境温度密切相关,但可溶性糖含量与外界温度相关性高于水,且可溶性糖与日极端低温密切相关,因此更应重视可溶性糖含量变化,在苹果栽培生产中,应充分考虑树体营养问题。

参考文献:

- [1] 卜庆雁,周晏起,许英武,等.苹果抗寒性研究进展[J].北方果树,2005(2):1-4.
- [2] 宋洪伟,林凤起.苹果种质资源抗寒性鉴定评价[J].吉林农业科学,1998(3):87-90.
- [3] 吕春晶,孙凌俊,魏 潇,等.可溶性糖与葡萄抗寒性的关

- 系研究进展[J].辽宁农业科学,2017(4):50-53.
- [4] 付晓伟,张 倩,刘崇怀,等.评价葡萄根系抗寒性指标的确定[J].果树学报,2014,31(1):52-59.
- [5] 艾克来木·艾合买提,阿不来提·买买提,巴特尔·巴克,等.越冬期间库尔勒香梨不同器官抗寒性指标随气温的变化[J].西北植物学报,2016,36(7):1408-1416.
- [6] 马艺杰,苏世平,李 毅,等.核桃不同品种间抗寒能力比较[J].果树学报,2018,35(8):987-996.
- [7] 刘贝贝,陈利娜,牛 娟,等.6个石榴品种抗寒性评价及方法筛选[J].果树学报,2018,35(1):66-73.
- [8] 孙咏梅,刘丽杰,冯明芳,等.植物在低温胁迫下的糖代谢研究进展[J].东北农业大学学报,2015,46(7):95-102.
- [9] Linden L. Measuring cold hardiness in woody plants[D]. Helsinki: University of Helsinki, 2002.
- [10] 陈佰鸿,张 彪,毛 娟,等.葡萄枝条水分含量变化与抗寒性关系[J].植物生理学报,2014,50(4):535-541.
- [11] 王 涛,王晓楠,王明芳,等.低温下冬小麦水分含量的变化与抗寒性鉴定[J].作物杂志,2015(1):61-66.
- [12] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:144-148.
- [13] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].广州:华南理工大学出版社,2002:2-7.
- [14] 曹建东,陈佰鸿,王利军,等.葡萄抗寒性生理指标筛选及其评价[J].西北植物学报,2010,30(11):2232-2239.
- [15] 刘国成,马怀宇,吕德国,等.寒富苹果及其亲本越冬期生理特性研究[J].湖北农业科学,2012,51(21):4819-4822,4829.
- [16] 苏李维,李 胜,马绍英,等.葡萄抗寒性综合评价方法的建立[J].草业学报,2015,24(3):70-79.
- [17] Lee D K, Kwon B S, Ramamoorthy A. Freezing point depression of water in phospholipid membranes: a solid-state NMR study[J]. Langmuir, 2008, 24(23): 13598-13604.
- [18] 李玉梅,陈艳秋,李 莉.梨品种枝条膜透性和水分状态与抗寒性的关系[J].北方果树,2005(1):3-5.
- [19] 张 敏,蔡瑞国,贾秀领,等.小麦抗寒机制的研究进展[J].东北农业科学,2016,41(4):37-42.

(责任编辑:王 昱)