

网络出版时间:2015-06-30 13:47 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.08.009  
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150630.1347.009.html

# 短截对富士苹果萌芽前后枝条不同部位 碳氮营养的影响

艾沙江·买买提,梅 闯,张校立,闫 鹏

(新疆农业科学院 园艺作物研究所,新疆 乌鲁木齐 830091)

**【摘要】**【目的】研究不同修剪方法对催芽处理前后富士苹果一年生枝不同部位碳、氮营养物含量的影响,为完善苹果修剪技术提供参考。【方法】以富士苹果(*Malus domestica* Borkh cv. Red Fuji)幼苗一年生枝条为试材,在解除休眠到萌芽期,于离体条件下对枝条进行短截处理(短截 1/2、短截 1/3),以不短截处理为对照,将按要求处理后的 一年生枝带回试验室,将枝条下部剪平,直立放在盛有 500 mL 水的瓷盘里,置于 GXZ 型光照培养箱(25 ℃(白天)/20 ℃(晚上)、16 h 光照/8 h 黑暗条件)中进行催芽处理,在处理后的第 0、3、6、9、12 天取样,测定枝条不同部位的可溶性糖、淀粉、总糖和可溶性蛋白含量,研究短截处理对一年生枝不同部位碳、氮营养物质含量的影响。【结果】富士苹果 一年生枝条不同部位可溶性糖、淀粉、总糖以及可溶性蛋白的含量有明显分布梯度,表现为从一年生枝顶部向下,对照枝条木质部的可溶性糖含量由 93.9 mg/g 逐渐降到 61.9 mg/g,淀粉含量从 72.6 mg/g 逐渐降到 37.7 mg/g,总糖含量从 166.5 mg/g 逐渐降到 99.6 mg/g。催芽处理前(处理 0 d)木质部可溶性糖、淀粉及总糖含量高于韧皮部。催芽处理后,木质部碳、氮营养物质含量变化幅度较大,与韧皮部相比,木质部平均可溶性糖、总糖和可溶性蛋白含量分别降低了 38.1%、31.6%和 15.4%,平均淀粉含量增加了 17.4%;而韧皮部以上营养物质含量的变化幅度较小。短截处理未改变枝条自身碳、氮营养物质的分布梯度,不同处理枝条对应部位碳、氮营养物质的含量没有明显差异,但对整个枝条平均水平而言,短截降低了枝条内的平均可溶性糖、淀粉以及总糖含量,整个试验过程中短截处理枝条木质部以上营养物质的含量总体低于对照枝条。【结论】短截未改变苹果一年生枝条自身碳、氮营养物质含量的分布梯度,表现为从枝条顶部向下逐渐减少。

**【关键词】** 苹果;短截;解除休眠;碳氮营养

**【中图分类号】** S661.1

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2015)08-0140-07

## Effect of cutting back on carbon and nitrogen nutrients of apple shoots during the germination period

AISAJAN Mamat, MEI Chuang, ZHANG Xiao-li, YAN Peng

(1 Research Institute of Horticultural Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study investigated the effects of different cutting methods on carbon and nitrogen nutrients of apple shoots during germination period to better understand the physiology of branching patterns and pruning responses. 【Method】 From dormancy release to germination, Young ‘Fuji’ (*Malus domestica* Borkh.) apple annual shoots were used to study the effects of cutting back on quantitative changes of carbon and nitrogen nutrients caused by artificial dormancy breaking process. The shoots were pruned at different lengths (Control: cutting off the flabby apex, cutting off 1/3 length of the shoot, and

【收稿日期】 2014-01-27

【基金项目】 新疆农业科学院青年科技基金项目(XJNKQ-2014001)

【作者简介】 艾沙江·买买提(1982-),男(维吾尔族),新疆库尔勒人,助理研究员,主要从事果树栽培与生理研究。

E-mail: aisajan\_116@163.com

cutting off 1/2 length of the shoot.) before being transferred to a GXZ type cultivation box with illumination for 0,3,6,9, and 12 days in an upright position with bases in water. The growing conditions were: temperature 25 °C/20 °C (day/night), and 16 h/8 h (illumination/darkness) photoperiod. Then contents of soluble sugar, starch and protein at different parts were measured to investigate the effects on carbon and nitrogen nutrients of shoots. 【Result】 There were significant differences in nutrient contents at different positions of apple annual shoots. In xylem, contents of soluble sugar, total sugar and starch were the highest in apex (93.9, 166.5, and 72.6 mg/g) while the lowest (61.9, 99.6, and 37.7 mg/g) were in proximal segment. Before the bud forcing treatment (0 d), xylem soluble sugar, starch and total sugar contents were higher than that of phloem. Total sugar, soluble sugar and soluble protein decreased by 31.6%, 38.1% and 15.4% when shoots were forced to bud break. In contrast, starch content increased by 17.4% after treatment. Cutting back treatment had little effect on carbohydrates in different parts of shoot, indicating that cutting back treatment failed to change the intrinsic distribution gradient of carbohydrates. But cutting back treatment significantly decreased average carbohydrates (total carbohydrate, soluble sugar, starch and soluble protein) of the whole shoots. 【Conclusion】 Cutting back treatment did not change the intrinsic distribution gradient of carbohydrates in different parts of branches which gradually reduced from top to base.

**Key words:** apple; cutting back; dormancy release; carbon and nitrogen nutrients

落叶果树自然休眠过程仅是可视的生长停止,其枝条、芽及其他器官内部仍进行着一系列复杂的生理生化代谢<sup>[1]</sup>,此类生理代谢特点是在系统发育过程中形成的,是对逆境环境适应性的一种表现<sup>[2]</sup>。果树枝条芽体内的可溶性糖、总糖量、可溶性蛋白质含量从休眠开始时缓慢降低,到休眠最深时最低,然后又迅速升高,在休眠解除时达到最高,又于萌芽前迅速降低,淀粉含量的变化则相反<sup>[3-4]</sup>。桃树枝条内淀粉含量,在10—11月最多,到1月迅速减少,到萌芽前再次增加,但可溶性糖和淀粉含量的变化相反,在1—2月急剧增加,在萌芽前减少,木质部汁液中的可溶性糖会在休眠结束时流向发育中的芽<sup>[5]</sup>。

剪去一部分枝段和芽后,枝条内部的营养状况会发生一此变化,留下的芽相对可以获得较多的氮素营养和水分,从而加强萌发力和生长势。通过修剪可以调节枝类比例,改变树体的营养状况,使树体上部与下部、主枝与主枝、主枝与侧枝之间的生长势达到平横,使同一树上各部位、各器官可以均衡地生长发育,以维持树势的稳定。长枝修剪对桃树一年生枝不同部位花芽的鲜质量和干质量、全氮和全碳含量有显著影响,且长枝修剪树显著高于短枝修剪树<sup>[6]</sup>。长红3号枇杷回缩树枝梢在开花结果乃至成熟过程中,由于营养充足不易脱叶,光合作用远较对照树强<sup>[7]</sup>。但目前对果树修剪反应的生理基础研究很少,也不够深入。本研究分析了不同修剪方法对萌芽前后富士苹果一年生枝不同部位碳氮营

养物含量的影响,以期丰富苹果修剪技术的理论知识,并为苹果修剪技术的完善提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于2010—2013年在中国农业大学上庄试验站进行。试材为2009年4月上旬定植于中国农业大学上庄试验站的富士苹果(*Malus Domestica* Borkh cv. Red Fuji),砧木为八棱海棠(*Malus robusta* Rehd),株行距0.8 m×1.25 m。树势中庸,常规管理,土壤肥力中等。试验期间正常管理,取样时在生长势一致的树体上采集一年生枝条,带回试验室进行各项生理生化指标的测定。

### 1.2 试验处理

于2010年初在同一株树上选位置相同、长势和角度一致(垂直)、长为90~100 cm的一年生枝条3枝,其中1枝短截1/2,1枝短截1/3,1枝不短截(对照)。每处理重复3次,每个重复10个枝条,共150株树。2010-01-28,将按要求处理后的一年生枝从下部剪下后带回试验室,将枝条下部剪平,直立放在盛有500 mL水的瓷盘里,置于GXZ型光照培养箱(25 °C(白天)/20 °C(夜晚)、16 h光照/8 h黑暗条件)进行催芽处理,每2 d换1次水,每次剪掉2~3 mm,露出新茬。分别在催芽处理后的第0,3,6,9,12天取样,每次每个重复取10个枝条。每次取样分别取枝条的顶、上、中、下部各部分上端10 cm枝段。顶部为枝条顶端向下10 cm内,上部为1/3处

向下 10 cm 内,中部为枝条 1/2 处向下 10 cm 内,下部为从枝条基部向上 10 cm 内。韧皮部(带芽)和木质部分开,剪成 1 cm 小枝段,冻结、磨碎,−80 ℃ 保存。

### 1.3 枝条不同部位碳、氮营养物质含量的测定

1.3.1 可溶性糖含量 参照文献[8]的方法,称取 0.3 g 鲜样放入 20 mL 试管中,然后加 10 mL 蒸馏水,塑料薄膜封口后沸水浴 30 min (3 次),用滤纸过滤入 50 mL 容量瓶中,冲洗残渣,定容。然后吸取提取液 1 mL(重复 2 次)于 20 mL 刻度试管中,加蒸馏水 1 mL(对照加 2 mL 蒸馏水)、蒽酮乙酸乙酯液 0.5 mL、浓硫酸( $H_2SO_4$ ) 5 mL,充分振荡,立即将试管放入沸水浴中保温反应 1 min,取出后自然冷却至室温,于 630 nm 下比色测定,重复 3 次取平均值。

1.3.2 淀粉含量 将提取可溶性糖以后的残渣,移入 50 mL 容量瓶中,加 20 mL 热蒸馏水,放入沸水浴中煮沸 15 min,再加入 9.2 mol/L 高氯酸 2 mL 提取 15 min,冷却后混匀,用滤纸过滤,并用蒸馏水定容至 50 mL,以后操作同可溶性糖的测定。

1.3.3 总糖含量 参照文献[8]的方法,用 3,5-二硝基水杨酸比色法在 540 nm 处比色测定总糖含量。

1.3.4 可溶性蛋白含量 用考马斯亮蓝 G-250 法测定蛋白含量<sup>[8]</sup>,采用分光光度法在 595 nm 处比

色。

### 1.4 数据分析

所有数据采用 Excel 2010 和 SPSS 16.0 软件进行处理,显著水平  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 短截对富士苹果一年生枝可溶性糖含量的影响

从表 1 可以看出,处理第 0—9 天,随着处理时间的延长,一年生枝可溶性糖含量逐渐下降,到处理后第 12 天时有所增加。同一枝条不同部位可溶性糖含量有显著差异,表现为从枝条顶端向下逐渐减少。催芽处理前木质部顶部可溶性糖含量明显高于韧皮部,催芽处理之后木质部内可溶性糖含量迅速下降,而韧皮部内可溶性糖含量的变化趋势比较平稳,到后期韧皮部内可溶性糖含量相当于木质部的 2~3 倍。其原因可能是处理条件适于芽的萌发后,韧皮部中芽代谢活性增高,促进淀粉降解成可溶性糖。另外催芽处理也加快了木质部与韧皮部之间的物质运输,从而使韧皮部内可溶性糖含量提高。从枝条顶部向下,对照和短截处理枝条木质部和韧皮部的可溶性糖含量均降低,且各部位差异显著,说明短截未能改变枝条不同部位可溶性糖含量的分布梯度。

表 1 短截对富士苹果一年生枝不同部位可溶性糖含量的影响

Table 1 Influence of cutting back on soluble sugar contents of annual shoots of Fuji apple

mg/g

组织 Tissue	处理 Treatment	取样部位 Sampling part	处理后时间/d Days after treatment				
			0	3	6	9	12
木质部 Xylem	对照 Control	顶部 Apex	93.9 a	51.9 a	36.4 a	34.9 a	35.1 a
		上部 Distal	85.7 b	44.7 b	29.0 b	26.5 b	29.5 b
		中部 Middle	75.5 c	38.7 c	25.1 c	24.5 c	27.1 c
		下部 Proximal	61.9 d	31.1 d	19.7 d	19.2 d	20.5 d
	短截 1/3 Cutting back 1/3	上部 Distal	86.0 a	46.9 a	30.3 a	27.8 a	28.7 a
		中部 Middle	75.3 b	40.6 b	24.7 b	25.4 b	26.1 b
		下部 Proximal	63.0 c	32.8 c	19.8 c	21.0 c	18.5 c
		短截 1/2 Cutting back 1/2	中部 Middle	76.0 a	41.5 a	24.1 a	24.8 a
		下部 Proximal	63.5 b	33.8 b	21.4 b	19.0 b	20.4 b
韧皮部 Phloem	对照 Control	顶部 Apex	87.5 a	80.6 a	69.2 a	61.8 a	74.5 a
		上部 Distal	82.8 b	75.1 b	63.0 b	55.2 b	68.5 b
		中部 Middle	77.1 c	70.3 c	57.9 c	49.6 c	63.7 c
		下部 Proximal	69.1 d	63.8 d	52.5 d	43.8 d	57.1 d
	短截 1/3 Cutting back 1/3	上部 Distal	81.5 a	77.3 a	64.2 a	56.9 a	70.5 a
		中部 Middle	76.6 b	68.2 b	60.9 b	50.5 b	65.1 b
		下部 Proximal	70.8 c	63.3 c	53.5 c	43.2 c	55.7 c
		短截 1/2 Cutting back 1/2	中部 Middle	77.6 a	71.5 a	59.4 a	48.5 a
		下部 Proximal	70.9 b	64.3 b	53.8 b	43.5 b	54.2 b

注:同列数据后的小写字母为新复极差多重比较的结果,标不同小写字母表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。下表同。

Note: Values followed by the same letter are significantly different according to Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ . The same below.

对整个枝条平均水平而言,短截处理降低了枝条内的平均可溶性糖含量,整个试验过程对照组枝条木质部可溶性糖含量明显高于短截处理枝条。另外,催芽处理后短截处理枝条木质部平均可溶性糖含量下降幅度较大,而对照枝条木质部平均可溶性糖的下降幅度较小。处理前韧皮部平均可溶性糖含量没有差异,处理后第 3 天短截处理枝条韧皮部内平均可溶性糖含量高于对照枝条。可能是因为短截处理使枝条下部组织摆脱了上部组织的抑制作用(顶端优势),当条件适于发芽时营养物质的分配方式发生变化,其向枝条下部芽运输,从而增加了枝条下部韧皮部内可利用营养物质的含量(表 1)。

## 2.2 短截对富士苹果一年生枝淀粉含量的影响

枝条不同部位淀粉含量的测定结果(表 2)表明,萌芽前枝条中淀粉含量的变化趋势较复杂,催芽处理后,木质部淀粉含量开始下降,到处理第 6 天达到低谷,之后开始增加。韧皮部淀粉含量的变化趋势正好相反,处理初期开始增加,到处理第 6 天达到高峰,之后开始下降。枝条不同部位淀粉含量有显著差异,表现为从枝条顶端向下逐渐减少。处理 0 d 木质部淀粉含量明显高于韧皮部,催芽处理后,木质

部淀粉含量开始下降,而韧皮部淀粉含量开始增加,到处理第 6 天,韧皮部淀粉含量明显高于木质部。其原因可能是淀粉作为贮藏物质,多贮存于木质部,当环境条件适于芽萌动时,枝条内代谢活性增高,促进木质部与韧皮部之间的养分运输,韧皮部淀粉含量才有所升高。本试验中第一次‘绿尖’出现在处理后第 7 天(对照组先萌发),芽开始萌动(第 6 天)后韧皮部淀粉含量开始下降,而木质部淀粉含量开始增加。其原因可能是休眠芽开始萌动后,韧皮部的代谢活性高于木质部,消耗的养分相对较多,导致韧皮部淀粉含量降低。另外,可能随着芽的萌动和代谢活性的增强,苹果多年生枝条内贮藏的养分物质被运输到木质部,从而提高了木质部淀粉含量。从枝条顶部向下,不同处理对应部位淀粉含量均显著降低,说明短截处理未能改变枝条不同部位淀粉的分布梯度。但对整个枝条平均水平而言,短截处理降低了枝条内淀粉的含量,不同处理枝条平均淀粉含量有显著差异,对照枝条平均淀粉含量最高,短截 1/2 处理枝条平均淀粉含量最低,说明短截越重枝条内贮藏的养分损失越大。

表 2 短截对富士苹果一年生枝不同部位淀粉含量的影响

Table 2 Influence of cutting back on starch contents of annual shoots of Fuji apple

mg/g

组织 Tissue	处理 Treatment	取样部位 Sampling part	处理后时间/d Days after treatment					
			0	3	6	9	12	
木质部 Xylem	对照 Control	顶部 Apex	72.6 a	66.1 a	55.3 a	71.7 a	79.3 a	
		上部 Distal	57.8 b	55.9 b	47.2 b	61.9 b	65.8 b	
		中部 Middle	45.1 c	44.0 c	43.1 c	54.1 c	58.8 c	
		下部 Proximal	37.7 d	34.4 d	32.1 d	44.0 d	46.6 d	
	短截 1/3 Cutting back 1/3	上部 Distal	56.7 a	54.1 a	46.9 a	59.6 a	65.2 a	
		中部 Middle	44.5 b	44.2 b	43.1 b	52.3 b	55.7 b	
		下部 Proximal	37.0 c	35.8 c	32.9 c	41.4 c	45.3 c	
		短截 1/2 Cutting back 1/2	中部 Middle	46.8 a	45.4 a	43.1 a	51.0 a	58.2 a
		下部 Proximal	37.4 b	34.2 b	32.9 b	42.7 b	46.0 b	
	韧皮部 Phloem	对照 Control	顶部 Apex	50.6 a	55.4 a	64.6 a	57.4 a	54.0 a
			上部 Distal	46.7 b	50.2 b	58.1 b	49.3 b	47.4 b
			中部 Middle	35.9 c	39.2 c	52.7 c	43.9 c	41.2 c
下部 Proximal			28.6 d	34.4 d	43.6 d	40.2 d	32.1 d	
短截 1/3 Cutting back 1/3		上部 Distal	45.4 a	50.4 a	57.2 a	52.8 a	45.5 a	
		中部 Middle	37.2 b	40.3 b	52.5 b	45.5 b	38.3 b	
		下部 Proximal	26.1 c	35.2 c	41.7 c	38.0 c	32.8 c	
		短截 1/2 Cutting back 1/2	中部 Middle	36.3 a	40.8 a	52.2 a	45.3 a	40.4 a
		下部 Proximal	28.9 b	35.5 b	42.9 b	39.3 b	34.2 b	

## 2.3 短截对富士苹果一年生枝总糖含量的影响

从表 3 可以看出,不同处理富士苹果一年生枝条不同部位总糖含量差异显著,顶部最高,下部最低,从上往下逐渐降低。其中韧皮部总糖含量在试验初期平稳下降,到处理后期开始缓慢增加,整个试

验过程中韧皮部总糖含量高于木质部。处理初期枝条木质部总糖含量迅速降低,到第 6 天降到最低,之后缓慢增加。到处理第 12 天,对照枝条中下部木质部总糖含量的增加幅度大于短截处理枝条,其原因可能是短截处理解除了顶端优势对中、下部芽生长

的抑制作用,而对照组枝条中、下部芽的萌发受上部组织的抑制,从而处于休眠状态,消耗的营养相对较少。从枝条顶部向下,不同处理对应部位总糖含量均显著下降,即短截未能改变枝条不同部位总糖含量的分布梯度。

对整个枝条平均水平而言,短截降低了枝条木

质部内的平均总糖含量,整个试验过程中短截处理枝条木质部平均总糖含量明显低于对照枝条(表 3)。其原因可能是木质部内贮藏的营养物质多于韧皮部,而且枝条上部养分含量明显高于枝条下部,短截减少了枝条中贮藏的养分,从而降低短截处理枝条木质部养分含量。

表 3 短截对富士苹果一年生枝不同部位总糖含量的影响

Table 3 Influence of cutting back on total sugar contents of annual shoots Fuji apple mg/g

组织 Tissue	处理 Treatment	取样部位 Sampling part	处理后时间/d Days after treatment					
			0	3	6	9	12	
木质部 Xylem	对照 Control	顶部 Apex	166.5 a	118.0 a	91.7 a	106.5 a	114.4 a	
		上部 Distal	143.5 b	100.7 b	76.2 b	88.4 b	95.3 b	
		中部 Middle	120.7 c	82.7 c	68.2 c	78.6 c	85.9 c	
		下部 Proximal	99.6 d	65.6 d	51.8 d	63.2 d	67.2 d	
	短截 1/3 Cutting back 1/3	上部 Distal	142.6 a	101.0 a	77.2 a	87.4 a	94.0 a	
		中部 Middle	119.8 b	84.8 b	67.8 b	77.7 b	81.8 b	
		下部 Proximal	100.0 c	68.6 c	52.8 c	62.4 c	63.8 c	
	短截 1/2 Cutting back 1/2	中部 Middle	122.9 a	87.0 a	67.2 a	75.7 a	85.5 a	
		下部 Proximal	100.9 b	68.1 b	54.3 b	61.7 b	66.4 b	
	韧皮部 Phloem	对照 Control	顶部 Apex	138.1 a	136.0 a	133.8 a	119.3 a	128.5 a
			上部 Distal	129.5 b	125.3 b	121.0 b	104.5 b	115.8 b
			中部 Middle	113.0 c	109.5 c	110.6 c	93.5 c	104.9 cv
下部 Proximal			97.7 d	98.3 d	96.0 d	83.9 d	89.2 d	
短截 1/3 Cutting back 1/3		上部 Distal	126.9 a	127.7 a	121.4 a	109.6 a	116.0 a	
		中部 Middle	113.8 b	108.6 b	113.3 b	96.0 b	103.3 b	
		下部 Proximal	96.9 c	98.4 c	95.2 c	81.2 c	88.5 c	
短截 1/2 Cutting back 1/2		中部 Middle	113.9 a	112.3 a	111.5 a	93.8 a	100.4 a	
		下部 Proximal	99.8 b	99.9 b	96.7 b	82.8 b	88.4 b	

## 2.4 短截对富士苹果一年生枝可溶性蛋白含量的影响

从表 4 可以看出,催芽处理之后,枝条木质部和韧皮部可溶性蛋白含量逐渐下降,到第 6 天总体达到最低值,之后枝条木质部和韧皮部可溶性蛋白含量总体提高,且韧皮部可溶性蛋白含量的提高幅度高于木质部。不同处理枝条对应部位木质部内可溶性蛋白含量没有明显差异,说明短截对枝条不同部位木质部可溶性蛋白含量无明显影响。到处理第

12 天,短截处理枝条韧皮部可溶性蛋白含量明显高于对照枝条。从枝条顶部向下,不同处理对应部位可溶性蛋白含量显著下降,可知短截未能改变枝条不同部位可溶性蛋白含量的分布梯度。究其原因,可能是因为短截解除了枝条上部组织对枝条中下部芽的抑制作用,下部芽中发生的生理变化促进了营养物质在木质部与韧皮部之间的运输,从而增加了对应部位韧皮部的可溶性蛋白含量。

表 4 短截对富士苹果一年生枝不同部位可溶性蛋白含量的影响

Table 4 Influence of cutting back on soluble protein contents of annual shoots Fuji apple mg/g

组织 Tissue	处理 Treatment	取样部位 Sampling part	处理后时间/d Days after treatment				
			0	3	6	9	12
木质部 Xylem	对照 Control	顶部 Apex	1.85 a	1.25 a	1.04 a	1.08 a	1.22 a
		上部 Distal	1.14 b	0.99 b	0.85 b	0.87 b	0.91 b
		中部 Middle	0.96 c	0.91 c	0.72 c	0.77 c	0.83 c
		下部 Proximal	0.82 d	0.79 d	0.67 c	0.63 d	0.78 d
	短截 1/3 Cutting back 1/3	上部 Distal	1.07 a	1.02 a	0.76 a	0.84 a	0.89 a
		中部 Middle	0.94 b	0.94 b	0.64 b	0.76 ab	0.84 ab
		下部 Proximal	0.67 c	0.92 b	0.61 b	0.69 b	0.76 b
	短截 1/2 Cutting back 1/2	中部 Middle	0.89 a	0.84 a	0.69 a	0.76 a	0.82 a
		下部 Proximal	0.73 b	0.83 a	0.64 a	0.64 b	0.63 b

续表 4 Continued table 4

组织 Tissue	处理 Treatment	取样部位 Sampling part	处理后时间/d Days after treatment				
			0	3	6	9	12
韧皮部 Phloem	对照 Control	顶部 Apex	4.25 a	3.78 a	3.27 a	3.42 a	3.68 a
		上部 Distal	3.78 b	3.32 b	2.87 b	3.13 b	3.22 b
		中部 Middle	3.50 c	3.10 c	2.56 c	2.79 c	2.89 c
		下部 Proximal	3.14 d	2.80 d	2.16 d	2.51 d	2.59 d
	短截 1/3 Cutting back 1/3	上部 Distal	3.85 a	2.98 a	2.57 a	3.18 a	3.66 a
		中部 Middle	3.45 b	2.62 b	2.30 b	2.89 b	3.33 b
		下部 Proximal	3.09 c	2.40 c	2.00 c	2.46 c	2.97 c
	短截 1/2 Cutting back 1/2	中部 Middle	3.44 a	3.16 a	2.55 a	3.06 a	3.16 a
		下部 Proximal	3.17 b	2.84 b	2.11 b	2.79 b	2.94 b

然而对整个枝条而言,短截处理降低了苹果枝条内的平均可溶性蛋白含量。对照组枝条内可溶性蛋白含量最高,其次为短截 1/3 处理,短截 1/2 处理枝条可溶性蛋白含量最低。这是因为枝条上部组织中的可溶性蛋白含量显著高于中下部组织,短截后枝条内养分含量高的部位被移除,从而降低了短截处理枝条内的平均可溶性蛋白含量。催芽处理前短截处理枝条韧皮部的蛋白含量总体低于对照组,催芽处理 12 d 后,短截处理提高了枝条韧皮部的可溶性蛋白含量(表 4)。

### 3 讨论

碳水化合物是果树生命活动的中心,春季芽萌发所需要的能量来自贮藏于树体多年生部位营养物质的重新分配<sup>[9-10]</sup>。休眠状态不同,芽内碳水化合物的代谢也不同,外源生长调节物质不仅可以改变芽的休眠状态,同时也影响着糖的代谢过程<sup>[11-12]</sup>。整个休眠期芽内碳水化合物含量会发生明显变化,其中在自然休眠前期,芽中可溶性糖含量较低,但自然休眠后期,可溶性糖含量迅速提高;与可溶性糖含量变化相反,自然休眠前期芽中淀粉含量呈增加趋势,自然休眠后期缓慢下降<sup>[3]</sup>。对于山茱萸和苹果树等的相关研究表明,枝条中可溶性糖含量冬季中旬最高,早春开始下降;淀粉含量秋季最高,冬季降到最低,到早春开始增加<sup>[10,12-13]</sup>。可知可溶性糖和淀粉含量峰值出现时期不同,冬季淀粉可能降解成可溶性糖。冬季可溶性糖含量的增加增强了植物的耐寒性,因此植物能抵抗较低的温度<sup>[14]</sup>。本试验发现,催芽处理前,富士苹果一年生枝木质部的淀粉含量高于韧皮部,其原因可能是淀粉作为贮藏物质,多贮存于木质部。催芽处理后,木质部淀粉含量开始下降,而韧皮部淀粉含量开始增加,可能是当环境条件适于芽萌动时,枝条内代谢活性增强,促进了木质部与韧皮部之间的养分运输,从而使韧皮部的淀粉

含量有所升高;催芽处理 6 d 后,韧皮部淀粉含量开始下降,而木质部淀粉含量开始增加。其原因可能是在芽开始萌动后,韧皮部内的代谢活性高于木质部,促进淀粉降解,导致韧皮部淀粉含量降低。此外,随着芽的萌动和代谢活性的增强,苹果多年生枝条内贮藏的养分物质可能被运输到一年生枝的木质部,从而提高了木质部内的淀粉含量。

催芽处理前韧皮部可溶性糖含量较高,这有利于苹果枝条安全度过低温。催芽处理之后,枝条不同部位可溶性糖、总糖和可溶性蛋白含量总体呈下降趋势,但木质部中以上营养物质含量的下降幅度较大,而韧皮部中以上营养物质的变化趋势较为平稳。韧皮部中较高的可溶性糖含量有利于芽的萌发生长。其原因可能是当环境条件适于芽萌动时,枝条内代谢活性增强,木质部与韧皮部之间的养分运输加快,韧皮部内可溶性糖和总糖的含量有所升高。可溶性糖是代谢的中间产物,由淀粉降解而产生,因此可溶性糖含量的高低与淀粉降解的速度有关。木质部的物质代谢活性较弱,故淀粉的降解受阻开始在木质部内积累,从而降低了木质部内可溶性糖含量。

本研究中,对整个枝条而言,短截降低了枝条木质部的平均可溶性糖、淀粉以及总糖含量,整个试验过程中短截处理枝条木质部的这些物质含量总体低于对照枝条。主要原因是由于木质部内贮藏的营养物质含量高于韧皮部,而且枝条上部营养物质含量高于下部,短截减少了枝条中贮藏的养分,从而降低了短截处理枝条木质部的养分含量。另外,短截解除了顶端优势,促进了根系矿物质和主枝贮藏的养分通过蒸腾液流向上运输,使得韧皮部的养分含量有所升高。可溶性蛋白含量与芽体分化关系密切,细胞分裂与组织分化都需要消耗蛋白<sup>[15-16]</sup>。由此可见,韧皮部较高的可溶性蛋白含量与芽体分化关系密切。

一般认为,果树对不同修剪的反应,可能是修剪改变了芽内源激素的平衡,从而导致碳、氮营养代谢发生了改变,养分物质主要贮存于枝条木质化程度较高的中下部位。本试验发现,短截处理后,富士苹果一年生枝条不同部位碳氮营养物质含量有明显差异。催芽处理第 0 天,木质部内可溶性糖、淀粉、总糖等碳水化合物含量高于韧皮部。催芽处理后,随着芽的萌动,木质部内以上碳、氮营养物质的降解速度加快,而韧皮部内以上碳、氮营养物质的变化幅度较为平稳,说明木质部贮存的养分多与韧皮部。整个试验过程中,从枝条顶端向下,不同处理碳、氮营养物质的含量均显著降低,说明短截未改变枝条不同部位碳、氮营养物质的分布梯度。

### [参考文献]

- [1] 袁志友,李宪利,高东升. 影响落叶果树芽自然休眠的因素[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2001,32(3):386-392.  
Zhang Z Y, Li X L, Gao D S. Factors that influence bud dormancy in deciduous fruit trees [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science, 2001, 32(3): 386-392. (in Chinese)
- [2] 郗荣庭. 果树栽培学总论 [M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 1995.  
Xi R T. General comment on fruit cultivation [M]. 3rd edition. Beijing: China Agricultural Press, 1995. (in Chinese)
- [3] 高东升,束怀瑞,李宪利,等. 桃自然休眠过程中外源激素对花芽碳水化合物调控效应 [J]. 果树学报, 2002, 18(2): 104-107.  
Gao D S, Shu H R, Li X L, et al. Effect of exogenous plant growth hormones on the changes of carbohydrates in peach bud during dormant period [J]. Journal of Fruit Science, 2002, 18(2): 104-107. (in Chinese)
- [4] 高东升,夏宁,王兴安. 休眠桃树枝条中碳水化合物的含量变化和外界生长调节剂对破除休眠的效应 [J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(1): 10-12.  
Gao D S, Xia N, Wang X A. Changes of carbohydrate content and effect of exogenous growth regulators on dormancy-breaking during dormant period of peach shoots [J]. Plant Physiology Journal, 1999, 35(1): 10-12. (in Chinese)
- [5] Young E. Cytokinin and soluble carbohydrate concentrations in xylem sap of apple during dormancy and budburst [J]. J Am Soc Hort Sci, 1989, 114: 29-300.
- [6] 杜宗绪,李尧霞,孙日海,等. 不同冬季修剪方法对桃树花芽质量的影响 [J]. 山西果树, 1997(4): 20-21.  
Du Z X, Li Y X, Sun R H, et al. Influence of different winter pruning on flower bud quality of peach trees [J]. Shanxi Fruits, 1997(4): 20-21. (in Chinese)
- [7] 刘友接,蒋际谋,张泽煌,等. 枇杷树回缩修剪对新梢生长和结果的效应 [J]. 山西农业大学学报:自然科学版, 2008, 28(4): 375-378.  
Liu Y J, Jiang J M, Zhang Z H, et al. Effects of retractile pruning on the growth of new branches and fruit bearing of the loquats [J]. Jour Shanxi Agric Univ: Natural Science Edition, 2008, 28(4): 375-378. (in Chinese)
- [8] 赵世杰. 植物生理学实验指导 [M]. 北京:中国农业科技出版社, 1998.  
Zhao S J. Experimental guidance of plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998. (in Chinese)
- [9] Flore J A, Layne D R P. Photoassimilate distribution in plants and crops: Source-sink relationships [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1996: 797-823.
- [10] Ashworth E N, Stirn V E, Volenec J J. Seasonal variations in soluble sugars and starch within woody stems of *Cornus sericea* L. [J]. Tree Physiology, 1994, 13(4): 379-388.
- [11] Anderson J V, Gesch R W, Jia Y, et al. Seasonal shifts in dormancy status carbohydrate metabolism and related gene expression in crown buds of leafy spurge [J]. Plant Cell Environ, 2005, 28: 1567-1578.
- [12] Bogatek R, Come D, Corbineau F, et al. Jasmonic acid affects dormancy and sugar catabolism in germinating apple embryos [J]. Plant Physiol Biochem, 2002, 40: 167-173.
- [13] Aysel Sivaci. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings [J]. Scientia Horticulturae, 2006, 109(3): 234-237.
- [14] 彭福田,姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 361-367.  
Peng F T, Jiang Y M. Characteristics of N, P, and K nutrition in different yield level apple orchards [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(2): 361-367. (in Chinese)
- [15] 姚胜蕊,曾攘,简令威. 桃花芽越冬期间蛋白质、核糖核酸动态与抗冻性的关系 [J]. 园艺学报, 1991, 41(18): 16-20.  
Yao S R, Zeng X, Jian L Q. The changes of total protein during the overwintering period of peach flower buds, and its relation to cold hardiness [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1991, 41(18): 16-20. (in Chinese)
- [16] 王海波,高东升,王孝娣,等. 短时间高温对“曙光”油桃芽自然休眠调控的研究 [J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 601-604.  
Wang H B, Gao D S, Wang X T, et al. Effects of short-term heating on bud dormancy in 'Shuguang' nectarine tree [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(3): 601-604. (in Chinese)