网络出版时间:2025-10-31 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.04.011

拉枝对玉露香梨枝条生长及果实糖含量和蔗糖代谢酶活性的影响

余小梅[1],高鑫珂[1],王江川[1],杨盛[2]

(1 山西农业大学 园艺学院,山西 太谷 030801;
2 山西农业大学 果树研究所,果树种质创制与利用山西省重点实验室,山西 太原 030031)

[摘 要] 【目的】研究拉枝角度对棚架栽培模式下玉露香梨枝条生长及果实糖代谢与积累的影响,为提高果实品质提供理论依据。【方法】以棚架栽培模式下的玉露香梨为例,对棚架主枝延长枝进行30°,60°,和90°的拉枝处理,以不拉枝为对照,统计坐果率和枝类组成,测量主枝延长枝新梢的长度和粗度及成熟期果实的单果质量、果实纵径和横径,并测定果实糖(可溶性糖、果糖、蔗糖、葡萄糖和山梨醇)含量和蔗糖代谢酶(蔗糖磷酸合成酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS-Ⅱ)、中性转化酶(NI)和酸性转化酶(AI))活性。【结果】棚架玉露香梨主枝延长头的拉枝角度越大,新梢的生长越缓慢。不同拉枝处理都可以提高棚架玉露香梨的坐果率,且对枝类组成无显著影响,当拉枝角度达到60°时,棚架玉露香梨的坐果率和中、短枝比例增加,长枝比例降低。随着拉枝角度的增大,果实的横纵径先增大后降低;随着果实成熟,果实的横径、纵径和单果质量逐渐增大,在果实成熟时达到最大值。在果实成熟的中后期,所有处理果实的果糖和葡萄糖含量快速增加,果糖含量成为果实中的主要糖;随着果实的成熟,甜度值先增加后降低,在80 d时达到最大值,变化趋势与果糖含量一致。在果实发育前期,酸性转化酶(AI)和中性转化酶(NI)活性较弱,随着果实发育其活性逐渐增高。果实发育早期蔗糖合成酶(SS-Ⅱ)活性随果实发育而下降,而后期则随果实发育而逐步增强。蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性随果实发育持续上升。【结论】拉枝60°处理有利于提高棚架栽培玉露香梨的坐果率和树体的中、短枝比例,可以促进叶片的光合效率,更有利于提高果实的糖积累及蔗糖代谢相关酶活性。

[关键词] 玉露香梨;拉枝角度;梨果实糖含量;蔗糖代谢酶活性
[中图分类号] S661.2 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)04-0092-08

Effects of branch bending on branch growth, sugar content and sucrose metabolizing enzyme activities in Yuluxiangli

YU Xiaomei[1], GAO Xinke[1], WANG Jiangchuan[1], YANG Sheng[2]

(1 *College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi* 030801, *China*;
2 *Institute of Pomology, Shanxi Agricultural University, Shanxi Key Laboratory of Fruit Germplasm Creation and Utilization, Taiyuan, Shanxi* 030031, *China*)

Abstract: 【Objective】 The study aimed to analyze the effects of branch bending angle on branch growth and sugar metabolism and accumulation in Yuluxiangli under a trellis cultivation mode, providing a theoretical basis for improving fruit quality. 【Method】 Using Yuluxiangli in trellis cultivation mode, branch bending treat-

[收稿日期] 2025-01-13 [修回日期] 2025-03-12
[基金项目] 国家重点研发计划项目子任务(2021YFD1901105-X-Y);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-28-29);山西省果树产业技术体系建设专项;山西省科技成果转化引导专项(202204021301037);山西省科技重大专项计划揭榜挂帅项目(202201140601027-2);兵团科技计划项目(2024AB040,2023AB004-01);山西农业大学科研项目(YZGC036);山西农业大学科技创新提升工程项目(CXGC202425)
[作者简介] 余小梅(2000—),女,重庆合川人,在读硕士,主要从事果树栽培生理与品质调控研究。E-mail:yuxiaomei0122@163.com
[通信作者] 杨盛(1983—),男,山西太谷人,研究员,博士,主要从事梨新品种选育与栽培研究。E-mail:ys20080808@163.com

中国知网 https://www.cnki.net

ments at 30°, 60°, and 90° were applied to the main extension branches of the trellis. Unbent branches served as the control. Fruit setting rate and branch composition were calculated, and length and diameter of the new shoots of the main extension branches, single fruit weight, longitudinal and transverse diameters of fruits at maturity were measured. Fruit sugar contents (soluble sugars, fructose, sucrose, glucose, and sorbitol) and activities of sucrose metabolizing enzymes (sucrose phosphate synthetase (SPS), sucrose synthetase (SS-Ⅱ), neutral invertase (NI), and acid invertase (AI)) were quantified.【Result】The larger the branch bending angles of the main branch of Yuluxiangli in tre-llis cultivation mode, the slower the growth of the new shoot. All branch bending treatments increased fruit setting rate, having no significant effect on the composition of branches. At a 60° bending angle, fruit setting rate and ratios of medium and short branches increased, while ratios of long branches decreased. With the increase of bending angle, the transverse and longitudinal diameters of fruit first increased and then decreased. With fruit ri-pening, the transverse diameter, longitudinal diameter and single fruit weight gradually increased, reaching the maximum value at maturity. In the middle and later stages of fruit ripening, fructose and glucose contents increased rapidly, with fructose becoming the predominant sugar in fruit. The sweetness index first increased and then decreased, peaking at 80 d, a trend consistent with fructose content dynamics. In early fruit development, acid invertase (AI) and neutral invertase (NI) activities remained low, but increased gradually with fruit development. Sucrose synthetase (SS-Ⅱ) activity decreased in early development, but increased during later stages. Sucrose phosphate synthetase (SPS) activity increased continuously throughout fruit development.【Conclusion】The 60° branch bending treatment was beneficial to increase the fruit setting rate and ratios of medium and short shoots in trellised Yuluxiangli pear trees. It promoted leaf photosynthetic efficiency, and more effectively enhanced the sugar accumulation and activities of sucrose metabolizing enzymes in fruits.

Key words: Yuluxiangli; branch bending angle; sugar content of pear fruit; activity of sucrose metabolizing enzymes

整形修剪可以改变果实的生长、负荷及光照环境等，可能对花芽形成、果实产量和品质产生重大影响[1-2]。良好的树形是果树优质栽培的基础，前人对桃[3]、梨[4]和苹果[5-6]等果实产量和树形的关系都进行了研究，结果表明良好的树形结构和高效管理可以提高果实的品质和产量。“双臂顺行式”棚架是湖北省农业科学院果树茶叶研究所研发的一种新型梨树栽培模式，这种栽培模式有利于梨树的通风透光，增加梨树的承载和抗风能力，降低果实的掉落率，提高果树产量。更重要地是棚架栽培还有利于田间操作，能够在极大程度上减少人工，达到省力化栽培[7-9]。吴鲜亮等[10]研究了拉枝对苹果梨幼树生长发育的影响，认为苹果梨拉枝角度为80°左右能做到生长和结果兼顾。崔慧敏等[11-12]对库尔勒香梨的研究表明，拉枝角度为80°时叶芽发育和花芽分化状况较好，芽内可溶性糖和氮含量最高；叶片生理功能和发育状况最佳，受光抑制较弱，光合效率高，果实品质较好。位杰等[13]研究认为，省力密植栽培模式下库尔勒香梨的拉枝角度在75°～90°时，中、短果枝的比例和果实品质得到提升。

糖既是果实品质评价体系中的重要指标之一，也是果实品质和风味物质的主要成分[14]。果实中的糖含量、种类以及各种糖占比是决定果实甜度、风味品质和营养价值的关键因素。蔗糖是植物主要的光合产物，其合成、代谢及运输决定了植物的产量和品质[15]。许多研究表明，果实中糖分的积累与相关酶活性有着密切的关系，且糖分的积累机制与关键酶的调控作用因植物的种类而有所不同[16-17]。吴国良等[18]研究表明，在核桃树的发育过程中，核桃果实的果糖含量在前期最高，后期有所降低；蔗糖含量前期极低，后期逐渐增加，并证明了蔗糖合成酶（sucrose synthetase，SS）和蔗糖磷酸合成酶（sucrose phosphate synthetase，SPS）对糖的积累起着关键性的作用。WANG 等[19]认为，在枸杞果实中中性转化酶（neutral invertase，NI）和 SPS 在糖代谢中起着重要作用。邓晗等[20]研究表明，叶面喷施 50 μmol/L 的 MT 溶液对红酥宝梨的果皮颜色、果实硬度及大小等品质特征有显著改善，同时还提高了蔗糖代谢相关酶和转化酶的活性。郭春苗等[21]研究认为，扁桃幼果生理脱落期蔗糖代谢以转化分解为主，蔗糖分解方向的酶起主要作用。

玉露香梨（*Pyrus bretschneideri* Rehd，‘Yulu-

中国知网　https://www.cnki.net

xiangli')是山西农业大学果树研究所以库尔勒香梨为母本、雪花梨为父本杂交选育而成,具有果品优、产量高、耐储藏的特点[22]。随着栽培面积的逐年扩大,玉露香梨逐渐成为现代梨果产业布局和品种更新的主导品种[23]。本研究以棚架玉露香梨为试验材料,研究拉枝角度对枝条生长、果实糖积累和蔗糖相关酶活性的影响,探讨拉枝角度对果实品质的影响机制,筛选出适合棚架玉露香梨的拉枝角度,同时为提高梨果实品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试果园概况

试验地点在山西农业大学果树研究所(东经120°32′,北纬37°23′)玉露香梨示范园进行,该区域海拔820~900 m,属暖温带大陆性气候。

1.2 试验处理

试验材料为8年生玉露香梨(*Pyrus bretschneideri* Rehd,'Yuluxiangli'),树形为棚架型。选取长势相近、粗细相似且无明显病虫害的梨树,于2024年5月26日对棚架主枝延长枝进行拉枝处理,拉枝角度分别为30°,60°和90°(与架面平行),以不拉枝(垂直于架面)为对照(CK)。每个处理2株,3个重复。其他管理方式同园区正常管理方式。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 枝条生长势、类别及坐果率调查 在初花期统计不同处理的花序数、花蕾数,在第2次生理落果结束后统计幼果数,计算花序坐果率和花朵坐果率。在秋梢封顶(8月初)后测量主枝拉枝后延长头新梢的长度及粗度。在11月时,统计不同处理果树的长枝(长度>15 cm)、中枝(长度5~15 cm)、短枝(长度<5 cm)数量,计算不同类型枝条占总枝数的比例。

1.3.2 叶片光合参数测定 在秋梢封顶(8月初)后,选择晴朗天气,于09:00-11:00测定不同拉枝处理新梢叶片(主枝新梢的第5~9片)的光合参数,如净光合速率(net photosynthetic rate,P_n)、气孔导度(stomatal conductance,G_s)、胞间CO_2浓度(intercellular CO_2 concentration,C_i)、蒸腾速率(transpiration rate,T_r)。采集新梢叶片,剪碎,用丙酮浸提法测定叶绿素含量。

1.3.3 梨果实外观品质的测定 拉枝后(2024年5月26日)至果实成熟(2024年9月2日)进行采样,每20 d取样1次。棚架选择2大主枝,每个主枝水平方向距中心干基部(距中心干<1.0 m)、中部(距中心干1.0~2.0 m)和外围(距中心干>2.0 m)3部分采样,共采18个果实。单果质量的测定:采用电子天平(精确到0.01 g)称质量,取平均值。果形指数的测定:采用游标卡尺(精确到0.01 mm)分别测量果实的纵、横径,果形指数以果实纵径与横径的比值表示,取平均值。

1.3.4 梨果实糖含量及相关酶活性的测定 将1.3.3节的样品切碎混合,液氮冷冻,置于-80 ℃保存。梨果实的可溶性糖含量测定采用格锐思生物试剂盒;果糖含量测定采用格锐思生物试剂盒;蔗糖含量测定采用格锐思生物试剂盒;葡萄糖含量测定采用格锐思生物试剂盒;山梨醇含量测定采用格锐思生物试剂盒;蔗糖合成酶(SS-Ⅱ)活性测定采用格锐思生物试剂盒;蔗糖磷酸合成酶活性测定采用boxbio试剂盒;中性转化酶活性测定采用boxbio试剂盒;酸性转化酶活性测定采用boxbio试剂盒。甜度值的计算参照姚改芳[24]的方法,以蔗糖的甜度值为1.00,果糖为1.75,葡萄糖为0.70,山梨醇为0.40,甜度值=蔗糖含量×1.00+果糖含量×1.75+葡萄糖含量×0.70+山梨醇含量×0.40。

1.4 数据分析

试验数据采用Excel进行整理,采用SPSS进行差异显著性分析,用OriginPro 2021绘图。

2 结果与分析

2.1 拉枝处理对玉露香梨新梢枝条和坐果的影响

从表1可以看出,玉露香梨主枝延长枝的拉枝角度越大,新梢的生长越缓慢。不拉枝时,新梢的生长势最强,新梢长度79.57 cm,粗度9.89 mm。拉枝90°处理时,延长枝新梢的生长势最弱,新梢长度和新梢粗度较不拉枝处理降低了13.74%和11.68%。不拉枝的坐果率最低,花序坐果率为64.82%,花朵坐果率为20.02%。拉枝处理后的坐果率都有所提高,拉枝30°处理的花朵坐果率较不拉枝处理增加了11.84%;拉枝60°处理的花朵坐果率较不拉枝处理增加了25.67%,且与不拉枝处理有显著差异;拉枝90°处理的花朵坐果率较不拉枝处理增加了16.93%。

从图1可以看出,不同拉枝处理对棚架玉露香梨的枝类组成无显著影响。随着拉枝角度逐渐增大,棚架玉露香梨的长枝比例降低,短枝比例增加。当拉枝角度达到60°时,棚架玉露香梨的中、短枝比

中国知网 https://www.cnki.net

例较大，长枝比例最小。

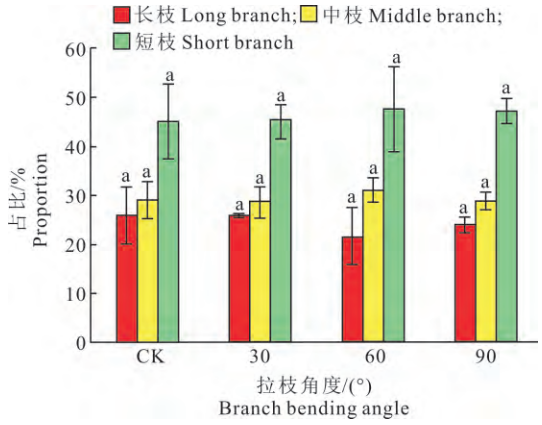
表 1　拉枝处理对玉露香梨新梢生长和坐果率的影响

Table 1　Effects of branch bending treatments on shoot growth and fruit setting rate of Yuluxiangli

拉枝角度/(°) Branch bending angle	新梢长度/cm New shoot length	新梢粗度/mm New shoot diameter	花朵坐果率/% Flower fruit setting rate	花序坐果率/% Fruit setting rate of inflorescences
CK	79.57±14.10 a	9.89±0.95 b	20.02±2.98 b	64.82±9.22 a
30	73.02±7.08 a	9.42±0.88 ab	22.39±0.94 ab	66.39±6.42 a
60	71.62±6.56 a	9.29±0.72 ab	25.16±2.93 a	73.82±9.18 a
90	68.63±5.87 a	8.73±0.90 a	23.41±1.48 ab	68.36±4.06 a

注：同列数据后标不同小写字母表示不同拉枝处理间差异显著（$P<0.05$）。下同。

Note: Different lowercase letters of the data in the same column indicate significant differences among treatments ($P<0.05$). The same below.



图柱上标不同小写字母表示不同拉枝处理间差异显著（$P<0.05$）。

Different lowercase letters above the bars indicate significant differences among treatments ($P<0.05$).

图 1　拉枝处理对玉露香梨枝类组成的影响

Fig. 1　Effects of branch bending treatments on branch composition of Yuluxiangli

2.2　拉枝处理对玉露香梨新梢叶片光合参数的影响

从表 2 可以看出，拉枝 60°时，玉露香梨新梢叶片的 P_n 最大，为 13.70 μmol/(m²·s)，较不拉枝和拉枝 30°处理增加了 30.72% 和 47.15%，且有显著差异。新梢叶片的 G_s 在拉枝 30°处理时达到最大值，为 0.27 mmol/(m²·s)。新梢叶片的 C_i 在拉枝 60°处理时达到最大值，为 272.33 μmol/mol，较不拉枝和拉枝 30°处理增加了 21.30% 和 40.31%，且有显著差异。新梢叶片的蒸腾速率和叶绿素含量在拉枝 60°处理时达到最大值，为 11.07 mmol/(m²·s) 和 1.09 mg/g，与其他处理有显著差异。

2.3　拉枝处理对玉露香梨果实大小的影响

由表 3 可以看出，随着拉枝角度的增大，玉露香梨果实的横纵径先增大后降低，在拉枝 60°时达到最大值。随着果实成熟，果实的横径、纵径和单果质量逐渐增大，在果实成熟时达到最大值，其中单果质量为 498.33 g，较不拉枝、拉枝 30°和拉枝 90°处理分别增加了 25.89%，3.61% 和 28.33%，与不拉枝和拉枝 90°处理存在显著差异。拉枝处理对玉露香梨果形指数的影响不显著，果实偏圆形。

表 2　拉枝处理对玉露香梨新梢叶片光合作用的影响

Table 2　Effects of branch bending angle treatments on photosynthesis in new shoot leaves of Yuluxiangli

拉枝角度/(°) Branch bending angle	P_n/(μmol·m⁻²·s⁻¹)	G_s/(mmol·m⁻²·s⁻¹)	C_i/(μmol·mol⁻¹)	T_r/(mmol·m⁻²·s⁻¹)	叶绿素含量/(mg·g⁻¹) Chlorophyll content
CK	10.48±1.85 bc	0.23±0.02 a	224.50±55.23 bc	8.23±2.15 b	0.89±0.16 b
30	9.31±0.74 c	0.27±0.05 a	194.00±13.67 c	8.38±0.56 b	0.84±0.06 b
60	13.70±1.04 a	0.24±0.05 a	272.33±23.07 a	11.07±1.06 a	1.09±0.10 a
90	11.97±3.08 ab	0.24±0.07 a	241.33±38.58 ab	8.46±1.99 b	0.82±0.02 b

表 3　拉枝处理对玉露香梨果实大小的影响

Table 3　Effects of branch bending treatments on fruit size of Yuluxiangli

处理时间/d Processing time	拉枝角度/(°) Branch bending angle	横径/mm Transverse diameter	纵径/mm Longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	单果质量/g Single fruit weight
20	CK	33.33±0.68 b	30.64±0.76 b	0.92±0.01 a	19.99±1.21 b
	30	36.62±0.73 a	35.21±0.88 a	0.96±0.02 a	25.78±1.35 a
	60	36.65±0.42 a	35.01±0.90 a	0.96±0.02 a	26.47±1.02 a
	90	35.72±1.39 ab	35.72±1.39 ab	0.97±0.01 a	26.24±2.66 a

中国知网　https://www.cnki.net

表3(续) Table 3(continued)

处理时间/d Processing time	拉枝角度/(°) Branch bending angle	横径/mm Transverse diameter	纵径/mm Longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	单果质量/g Single fruit weight
40	CK	54.12±1.98 a	47.65±3.16 a	0.88±0.03 a	72.07±4.88 a
	30	55.48±2.22 a	54.29±4.09 a	0.98±0.05 a	83.10±7.97 a
	60	57.49±2.33 a	53.44±2.57 a	0.98±0.05 a	86.73±5.43 a
	90	52.61±2.11 a	52.61±2.11 a	0.92±0.03 a	70.90±6.11 a
60	CK	64.49±1.88 b	57.62±1.76 b	0.89±0.02 a	144.29±10.69 b
	30	65.65±2.94 ab	62.50±1.64 ab	0.96±0.06 a	170.11±6.14 ab
	60	72.68±1.95 ab	64.93±0.78 ab	0.96±0.06 a	207.45±12.66 a
	90	68.33±2.73 ab	68.33±2.73 ab	0.91±0.02 a	164.45±19.46 b
80	CK	78.51±1.48 a	72.77±2.26 b	0.93±0.03 a	264.22±11.10 b
	30	82.77±3.28 a	77.24±1.70 b	0.94±0.02 a	317.49±28.15 ab
	60	86.99±1.05 a	83.69±1.82 b	0.94±0.02 a	338.03±3.28 a
	90	80.07±3.68 a	80.07±3.68 a	0.93±0.03 a	295.90±22.40 ab
100	CK	87.93±2.58 a	81.98±3.06 b	0.93±0.03 a	395.85±25.82 bc
	30	94.07±2.09 a	93.18±0.64 a	0.99±0.02 a	480.96±29.45 ab
	60	94.76±1.51 a	93.67±2.73 a	0.99±0.02 a	498.33±29.04 a
	90	90.88±3.26 a	90.88±3.26 a	0.91±0.03 a	388.32±29.87 c

2.4 拉枝处理对玉露香梨果实糖含量的影响

由表4可以看出,随着玉露香梨果实成熟度的增加,拉枝处理果实的可溶性糖含量均增加。拉枝20 d后,每个处理玉露香梨果实的可溶性糖含量无显著差异;拉枝40 d后,拉枝60°处理的可溶性糖含量显著高于不拉枝和拉枝90°处理;拉枝60 d后,拉枝60°处理的可溶性糖含量显著高于其他处理;拉枝100 d时,拉枝60°处理的可溶性糖含量达到最大值,为71.37 mg/g,较不拉枝、拉枝30°和拉枝90°处理增加了18.49%,18.40%和11.15%。

表4 拉枝处理对玉露香梨果实可溶性糖含量的影响

Table 4 Effects of branch bending treatments on soluble sugar content of Yuluxiangli fruit mg/g

拉枝角度/(°) Branch bending angle	处理时间/d Processing time				
	20	40	60	80	100
CK	12.22±0.07 a	27.63±0.88 bc	35.99±1.40 b	54.46±0.40 b	60.24±0.31 c
30	11.52±0.07 a	29.03±0.42 ab	37.43±1.31 b	53.96±0.21 b	61.96±0.91 ab
60	12.58±0.07 a	30.39±0.32 a	40.95±0.84 a	59.34±0.67 a	71.37±0.58 a
90	11.70±0.07 a	27.12±0.45 c	31.56±0.27 c	51.94±0.62 c	64.20±1.69 b

由表5可以看出,随着果实的成熟,拉枝30°,60°和90°处理玉露香梨果实的葡萄糖含量先增加后降低,在拉枝80 d时达到最大值,而不拉枝处理的葡萄糖含量逐渐增加;各处理的葡萄糖含量在拉枝20~40 d时快速增加,拉枝60°处理的葡萄糖含量增长速度最快。随着果实的成熟,山梨醇含量逐渐增加,在拉枝20~40 d时快速增加,不拉枝及拉枝30°,60°和90°处理较拉枝20 d时分别增加了27.00%,28.65%,52.72%和32.41%;拉枝40 d后山梨醇含量缓慢增加。随着果实的成熟,果糖含量先增加后降低,在拉枝20~40 d和拉枝60~80 d时果糖含量快速增加,在拉枝80 d时达到最大值。随着果实的成熟,蔗糖含量缓慢增加;在拉枝20~80 d时,拉枝60°处理的蔗糖含量保持在一个相对稳定水平,到拉枝100 d时快速增加,显著高于其他3个拉枝处理。

由表6可以看出,随着玉露香梨果实的成熟,甜度值先增加后降低,在拉枝80 d时达到最大值,变化趋势与果糖含量一致,甜度值在拉枝20~40 d和拉枝60~80 d时快速增长,在果实成熟时,拉枝60°处理的甜度值最高,显著高于不拉枝和拉枝30°处理。

2.5 拉枝处理对玉露香梨果实酶活性的影响

由表7可见,随着玉露香梨果实的成熟,SS-Ⅱ活性呈先降后增再降的趋势。在拉枝40 d时,SS-Ⅱ活性均下降,拉枝60°处理降低了9.10 μg/(mg·min);在拉枝80 d时,SS-Ⅱ活性快速增长并达到最大值,拉枝60°处理的SS-Ⅱ活性高达985.31 μg/(mg·min),较不拉枝、拉枝30°和拉枝90°处理增加了19.39%,20.67%和27.39%,存在显著差异;而在成熟期时SS-Ⅱ活性降低。随着果实的成熟,SPS活性逐渐增加,拉枝60°处理的SPS活性在每个时期都保持较高水平,除拉枝60 d时与拉枝90°处理差异不显著

中国知网 https://www.cnki.net

外，均显著高于其他拉枝处理；在拉枝 100 d 时，SPS 活性快速增长并达到最大值。随着果实的成熟，AI 活性大致呈现先升后降的趋势，拉枝 60°处理的 AI 活性在每个时期都保持较高水平，在 80 d 时达到最大值，为 179.89 U/g。随着果实的成熟，NI 活性大致呈现先增后降再增的趋势。

表 5　拉枝处理对玉露香梨果实糖成分的影响

Table 5　Effects of branch bending treatments on sugar components of Yuluxiangli fruit

处理时间/d Processing time	拉枝角度/(°) Branch bending angle	葡萄糖含量/(mg·g^{-1}) Glucose content	山梨醇含量/(mg·g^{-1}) Sorbitol content	果糖含量/(mg·g^{-1}) Fructose content	蔗糖含量/(mg·g^{-1}) Sucrose content
20	CK	30.26±1.03 b	41.51±0.20 b	18.50±0.43 b	2.73±0.14 c
	30	27.74±0.51 c	43.99±0.39 a	20.19±0.79 ab	3.65±0.19 b
	60	24.11±0.30 d	39.66±0.08 c	22.16±0.58 a	5.04±0.10 a
	90	34.28±0.99 a	41.68±0.11 b	18.73±0.61 b	3.89±0.13 b
40	CK	64.55±0.19 b	53.72±0.17 d	59.82±0.46 b	4.42±0.09 bc
	30	64.80±0.23 b	56.59±0.67 b	58.73±1.63 b	4.72±0.10 b
	60	76.62±1.01 a	60.57±0.09 a	67.14±0.38 a	5.33±0.11 a
	90	53.87±1.97 c	55.18±0.15 c	63.82±1.30 a	4.25±0.07 c
60	CK	80.44±0.30 a	59.56±0.35 ab	83.04±0.97 c	5.47±0.16 a
	30	80.41±0.51 a	58.24±0.27 b	89.22±0.26 b	5.21±0.09 a
	60	82.27±1.19 a	59.92±0.57 a	91.91±0.98 a	5.58±0.19 a
	90	74.98±0.42 b	55.71±0.42 c	81.41±0.59 c	4.68±0.14 b
80	CK	91.22±1.74 d	60.79±0.24 b	129.93±0.16 b	6.15±0.11 a
	30	101.86±0.31 b	62.26±0.34 ab	135.07±3.23 ab	6.09±0.07 a
	60	106.06±0.58 a	63.11±0.33 a	138.99±1.29 a	6.24±0.12 a
	90	98.04±0.40 c	61.61±1.09 ab	137.64±1.36 a	6.04±0.15 a
100	CK	99.07±0.40 a	60.75±0.45 b	112.07±1.43 a	7.61±0.09 c
	30	97.51±1.66 a	60.34±0.53 b	113.73±0.58 a	7.50±0.13 c
	60	102.04±1.39 a	66.16±0.42 a	114.25±0.35 a	8.90±0.14 a
	90	97.81±1.43 a	64.73±0.67 a	113.68±0.69 a	8.12±0.04 b

表 6　拉枝处理对玉露香梨果实甜度值的影响

Table 6　Effects of branch bending treatments on sweetness index of Yuluxiangli fruit

拉枝角度/(°) Branch bending angle	处理时间/d Processing time				
	20	40	60	80	100
CK	72.89±0.29 b	175.78±1.07 b	230.91±1.73 c	321.69±1.30 b	297.38±2.75 b
30	76.00±1.87 ab	175.49±3.22 b	240.91±0.17 b	338.67±5.57 a	298.92±1.29 b
60	76.56±0.79 ab	200.68±0.21 a	247.98±1.94 a	348.96±2.55 a	306.73±1.17 a
90	77.35±1.38 a	175.72±2.34 b	221.91±1.37 d	340.19±2.32 a	301.42±2.19 ab

表 7　拉枝处理对玉露香梨果实酶活性的影响

Table 7　Effects of branch bending treatments on enzyme activities of Yuluxiangli fruit

处理时间/d Processing time	拉枝角度/(°) Branch bending angle	SS-Ⅱ活性/(μg·mg^{-1}·min^{-1}) SS-Ⅱ activity	SPS活性/(μg·mg^{-1}·min^{-1}) SPS activity	AI活性/(U·g^{-1}) AI activity	NI活性/(U·g^{-1}) NI activity
20	CK	349.00±8.89 c	2.99±0.34 b	68.83±0.91 d	29.02±1.90 c
	30	491.99±0.00 ab	4.61±0.38 b	84.23±1.82 c	36.61±2.80 bc
	60	508.85±2.96 a	8.56±1.49 a	117.17±0.43 a	46.16±2.34 a
	90	480.26±5.08 b	4.15±1.18 b	105.17±0.72 b	41.08±2.47 ab
40	CK	308.06±7.23 c	12.61±1.83 c	119.01±1.57 c	41.63±0.76 c
	30	306.54±2.12 c	16.88±0.32 b	142.13±0.42 b	42.12±0.33 c
	60	499.75±4.90 a	21.26±0.04 a	146.70±0.00 a	51.17±1.56 a
	90	411.75±1.28 b	17.68±0.93 b	139.59±0.14 b	52.60±0.33 b
60	CK	525.32±7.16 b	14.28±0.54 c	142.63±2.26 c	49.20±0.33 b
	30	561.79±11.37 b	19.13±0.30 b	150.44±2.86 b	55.22±2.34 ab
	60	620.15±14.74 a	27.41±0.55 a	164.25±1.03 a	57.94±3.65 a
	90	558.88±14.74 b	26.26±0.88 a	149.01±1.98 bc	54.09±2.06 ab

中国知网　https://www.cnki.net

表7(续) Table 7(continued)

处理时间/d Processing time	拉枝角度/(°) Branch bending angle	SS-Ⅱ活性/($\mu g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$) SS-Ⅱ activity	SPS活性/($\mu g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$) SPS activity	AI活性/($U \cdot g^{-1}$) AI activity	NI活性/($U \cdot g^{-1}$) NI activity
80	CK	825.51±13.97 b	20.49±0.27 d	174.39±2.02 b	46.85±0.16 a
	30	816.71±16.50 b	24.49±0.68 c	172.78±1.27 bc	52.76±4.40 a
	60	985.31±0.42 a	30.49±0.48 a	179.89±1.29 a	55.74±3.33 a
	90	773.47±5.08 c	26.96±0.07 b	167.63±1.98 c	51.85±0.16 a
100	CK	762.47±8.04 b	38.25±0.45 b	159.25±1.68 b	54.35±0.64 b
	30	705.30±2.12 c	40.19±1.20 b	162.58±0.28 b	55.50±1.23 b
	60	799.86±13.54 a	47.16±1.22 a	176.32±2.20 a	65.75±1.36 a
	90	762.47±9.73 b	36.37±1.69 b	174.65±0.69 a	57.13±2.62 b

3 讨 论

通过拉枝改变枝条的生长角度和分布方向,对建立良好的骨架结构、调节枝条势力、改善光照通风条件、提高光合利用率等都起到了重要作用[25-26]。位杰等[13]研究表明,不同拉枝角度处理可以让库尔勒香梨树的长果枝比例减小,中、短果枝比例增加。本研究中,随着拉枝角度的逐渐增大,棚架玉露香梨的长枝比例降低,而中、短枝比例增加。这可能是由于拉枝处理抑制了梨树的生长势,减缓了顶端优势,进而促进了侧枝的萌发。戴文圣等[27]指出,对幼龄梨树进行拉枝处理可以增加其光合作用,让叶幕加速形成,并增加花序坐果率和花朵坐果率。本研究中,拉枝60°处理增加了棚架玉露香梨叶片的光合效率和坐果率。

果实中的糖主要是源自叶片光合作用产生的同化产物,并以不同形态运输至果实中进行代谢和积累。刘小阳等[28]研究表明,砀山酥梨同一树冠内光照强的部位果实糖含量高于光照弱的部位。梨果实的糖分主要由果糖、葡萄糖、蔗糖和山梨醇组成。施泽彬等[29]研究表明,翠冠和玉冠梨成熟果实以积累果糖为主,其次为葡萄糖和山梨醇,蔗糖含量最低,这与本研究中玉露香梨成熟果实中果糖的含量最高,其次是葡萄糖和山梨醇含量,蔗糖的含量最低的结果一致。SPS活性和蔗糖积累的趋势相一致,在蔗糖代谢中起关键作用,而蔗糖合成酶活性对蔗糖的积累作用较小[30]。本研究中,随着玉露香梨果实的成熟,SS-Ⅱ活性呈先降后增再降的趋势,SPS活性持续增加,并在拉枝80~100 d时快速增长,与果实中蔗糖含量的变化趋势一致。

4 结 论

不同拉枝处理对棚架玉露香梨树体新梢的生长均起抑制作用,拉枝60°处理可以提高棚架玉露香梨树体的中、短枝比列,增加花序坐果率和花朵坐果率。拉枝60°处理玉露香梨果实的可溶性糖、葡萄糖、果糖、山梨醇和蔗糖含量均保持在较高水平;SS-Ⅱ、SPS、NI、AI活性较高。综上所述,拉枝60°是最适合棚架玉露香梨的拉枝角度。

[参考文献]

[1] LAKSO A N, CORELLI GRAPPADELLI L. Implications of pruning and training practices to carbon partitioning and fruit development in apple[J]. Acta Horticulturae, 1992(322): 231-240.

[2] MIKA A. Physiological responses of fruit trees to pruning[M]. Horticultural Reviews, 1986: 337-378.

[3] 鲁韧强,王小伟,郭宝林,等. 桃树倾斜主干偏展形的光照分布与果实产量品质的关系[J]. 果树学报,2003,20(6):509-511.
LU R Q, WANG X W, GUO B L, et al. Effects of light distribution on yield and fruit quality of Ruipan 5 flat peach variety trained in slanting central leader system[J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(6): 509-511.

[4] 王岱立,黄绍虎. 不同栽植密度与整形方式对翠冠梨早产丰产性研究[J]. 北方园艺,2008(7):33-36.
WANG D L, HUANG S H. Research on the productivity and early ripening of Cuiguan pear under different cultivated densities and different pruning means[J]. Northern Horticulture, 2008(7): 33-36.

[5] 高登涛,韩明玉,李丙智,等. 渭北3种不同类型苹果园冠层特征及光照特性[J]. 果树学报,2007,24(3):259-262.
GAO D T, HAN M Y, LI B Z, et al. Canopy characteristics and light distribution in three types of apple orchards in Weibei area, Shaanxi province[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(3): 259-262.

[6] 张显川,高照全,付占方,等. 苹果树形改造对树冠结构和冠层光合能力的影响[J]. 园艺学报,2007,34(3):537-542.
ZHANG X C, GAO Z Q, FU Z F, et al. Influences of tree form reconstruction on canopy structure and photosynthesis of apple[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(3): 537-542.

[7] 边文莹. 梨树棚架栽培的优势及其在我国的应用前景[J]. 农业开发与装备,2018(11):59,67.
BIAN W Y. Advantages of pear trellis cultivation and its application prospect in China[J]. Agricultural Development & Equipments, 2018(11): 59, 67.

中国知网 https://www.cnki.net

[8] 蒋悦．梨树棚架栽培技术成本敏感性分析及梨园适度规模[D]．南京：南京农业大学，2017.
JIANG Y. Cost sensitivity analysis of pear trellis cultivation technology and appropriate scale of pear orchard[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.

[9] 陈万芳，赵京献．梨树棚架栽培技术与优势[J]．安徽农学通报，2008，14(18)：94-95.
CHEN W F, ZHAO J X. Cultivation techniques and advantages of pear trellis[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2008, 14(18): 94-95.

[10] 吴鲜亮，何志爱，杨勇．拉枝对苹果梨幼树生长发育的影响[J]．内蒙古农业科技，2008，36(1)：54-55.
WU X L, HE Z A, YANG Y. Effect of branch pulling on the growth and development of young apple-pear trees[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2008, 36(1): 54-55.

[11] 崔慧敏，阿布来克·尼牙孜，王睿哲，等．拉枝角度对中矮1号矮化中间砧库尔勒香梨光合荧光参数的影响[J]．新疆农业科学，2022，59(11)：2644-2651.
CUI H M, ABREQ NIZI, WANG R Z, et al. Effects of branch angle on the dwarf interstock Zhongai 1 photosynthetic fluorescence parameters of Korla fragrant pear[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2022, 59(11): 2644-2651.

[12] 崔慧敏．不同拉枝角度对库尔勒香梨生长和结果的影响[D]．乌鲁木齐：新疆农业大学，2022.
CUI H M. Effects of different branching angles on the growth and fruiting of Korla fragrant pear[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2022.

[13] 位杰，蒋媛，马建江，等．拉枝角度对库尔勒香梨枝叶生长及果实品质的影响[J]．西北林学院学报，2018，33(3)：111-116.
WEI J, JIANG Y, MA J J, et al. Effects of branch bending angle on the branch and leaf growth and fruit quality of Korla fragrant pear[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(3): 111-116

[14] 王永章，张大鹏．乙烯对成熟期新红星苹果果实碳水化合物代谢的调控[J]．园艺学报，2000，27(6)：391-395.
WANG Y Z, ZHANG D P. Regulating effects of ethylene on carbohydrate metabolism in 'Starkrimson' apple fruit during the ripening period[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2000, 27(6): 391-395.

[15] 邢雨蒙，李晓丽，宋晓飞，等．黄瓜蔗糖代谢关键酶基因家族鉴定及表达分析[J]．植物生理学报，2024，60(10)：1569-1578.
XING Y M, LI X L, SONG X F, et al. Identification and expression analysis of key sucrose metabolism enzyme gene family in cucumber[J]. Plant Physiology Journal, 2024, 60(10): 1569-1578.

[16] 王原秀，范昊蔚，田慧源，等．独脚金内酯对烟草腋芽和对应节位叶片糖代谢及其相关酶基因表达的影响[J]．植物生理学报，2024，60(3)：495-506.
WANG Y X, FAN W W, TIAN H Y, et al. Effect of strigolactones on sugar metabolism and gene expression about sugar-metabolizing enzymes in tobacco axillary buds and its corresponding nodal leaves[J]. Plant Physiology Journal, 2024, 60(3): 495-506.

[17] 王德孚，杨志军，孙江妹，等．梨不同品种果实可溶性糖积累差异及代谢相关酶活性[J]．果树学报，2014，31(1)：30-38.
WANG D F, YANG Z J, SUN J M, et al. Difference in soluble sugar accumulation and related enzyme activity of fruits among different pear cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(1): 30-38.

[18] 吴国良，潘秋红，张大鹏．核桃果肉发育过程中糖含量及相关酶活性的变化[J]．园艺学报，2003，30(6)：643-646.
WU G L, PAN Q H, ZHANG D P. Changes of sugar content and sugar metabolizing enzyme activities in the flesh of developing walnut fruit[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(6): 643-646.

[19] WANG T, WRIGHT D, XU H, et al. Expression patterns, activities and sugar metabolism regulation of sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, neutral invertase and soluble acid invertase in different goji cultivars during fruit development[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2019, 66(1): 29-40.

[20] 邓晗，张向展，王苏珂，等．外源γ-氨基丁酸和外源褪黑素处理对红酥宝梨果实品质及糖代谢相关酶的影响[J]．果树学报，2024，41(6)：1094-1110.
DENG H, ZHANG X Z, WANG S K, et al. A study on the effects of exogenous γ-aminobutyric acid and exogenous melatonin treatment on fruit quality and sugar metabolism-related enzymes in Hongsubao pear[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(6): 1094-1110.

[21] 郭春苗，杨波，木巴热克·阿尤普，等．扁桃生理落果期不同组织蔗糖代谢动态特征及与落果的关系[J]．植物生理学报，2020，56(2)：317-326.
GUO C M, YANG B, MUBAREKE·AYOUPU, et al. The sucrose metabolism dynamics in different tissues of almond during the physiological fruit drop and its relations with fruit drop[J]. Plant Physiology Journal, 2020, 56(2): 317-326.

[22] 贾永华，李晓龙，许泽华．玉露香梨优质丰产栽培及贮藏保鲜技术分析[J]．种子科技，2023，41(3)：91-93.
JIA Y H, LI X L, XU Z H. Analysis of high-quality and high-yield cultivation and storage and preservation techniques of Yuluxiangli[J]. Seed Science & Technology, 2023, 41(3): 91-93.

[23] 张绍铃，谢智华．我国梨产业发展现状、趋势、存在问题与对策建议[J]．果树学报，2019，36(8)：1067-1072.
ZHANG S L, XIE Z H. Current status, trends, main problems and the suggestions on development of pear industry in China[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(8): 1067-1072.

[24] 姚改芳．不同栽培种梨果实糖酸含量特征及形成规律研究[D]．南京：南京农业大学，2011.
YAO G F. Study on the characteristics and formation law of sugar and acid content in different cultivated pear fruits[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.

（下转第 132 页）

中国知网　https://www.cnki.net

胞学研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2009,30(3):263-267.
XU Q,QIN K,FENG A L,et al. Cytological investigation on anther development of a male sterile and fertile line in *Lycium barbarum* L. [J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition),2009,30(3):263-267.

[22] GOLDBERG R B,BEALS T P,SANDERS P M. Anther development: basic principles and practical applications[J]. The Plant Cell,1993,5(10):1217-1229.

[23] SUN Y J,HORD C L,CHEN C B,et al. Regulation of *Arabidopsis* early anther development by putative cell-cell signaling molecules and transcriptional regulators[J]. Journal of Integrative Plant Biology,2007,49(1):60-68.

[24] ZHU J,LOU Y,XU X F,et al. A genetic pathway for tapetum development and function in *Arabidopsis*[J]. Journal of Integrative Plant Biology,2011,53(11):892-900.

[25] KO S S,LI M J,LIN Y J,et al. Tightly controlled expression of bHLH142 is essential for timely tapetal programmed cell death and pollen development in rice[J]. Frontiers in Plant Science,2017,8:1258.

[26] DU K,XIAO Y Y,LIU Q E,et al. Abnormal tapetum development and energy metabolism associated with sterility in SaNa-1A CMS of *Brassica napus* L. [J]. Plant Cell Rep,2019,38:545-558.

[27] ZHANG M,GUO L,QI T,et al. Integrated methylome and transcriptome analysis between the CMS-D2 line ZBA and its maintainer line ZB in *Gossypium hirsutum*[J]. International Journal of Molecular Sciences,2019,20(23):6070.

[28] LI Y Q,QIN T F,WEI C Y,et al. Using transcriptome analysis to screen for key genes and pathways related to cytoplasmic male sterility in cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. International Journal of Molecular Sciences,2019,20(20):5120.

[29] LIU Z H,SHI X Y,LI S,et al. Oxidative stress and aberrant programmed cell death are associated with pollen abortion in isonuclear alloplasmic male-sterile wheat [J]. Frontiers in Plant Science,2018,9:595.

[30] LUO D P,XU H,LIU Z L,et al. A detrimental mitochondrial-nuclear interaction causes cytoplasmic male sterility in rice[J]. Nature Genetics,2013,45(5):573-577.

[31] BIACKMORE S,WORTLEY A H,SKVARLA J J,et al. Pollen wall development in flowering plants[J]. The New Phytologist,2007,174(3):483-498.

[32] ARIIZUMI T,TORIYAMA K. Genetic regulation of sporopollenin synthesis and pollen exine development[J]. Annual Review of Plant Biology,2011,62:437-460.

(责任编辑:屈李纯)

(上接第99页)

[25] 陈白,刘克飞,刘卓香. 梨树幼树整形修剪技术[J]. 落叶果树,2010,42(4):57-58.
CHEN B,LIU K F,LIU Z X. Pruning techniques for young pear trees[J]. Deciduous Fruits,2010,42(4):57-58.

[26] 艾沙江·买买提,阿布都外力·木米尼,王晶晶,等. 富士苹果短截、拉枝对当年生新梢叶片光合特性的影响[J]. 中国农业大学学报,2013,18(6):126-131.
MAIMAITI AISHAJIANG, MUMINI ABUDUWAILI, WANG J J,et al. Effects of cutting back and branch-bending on photosynthetic characteristics of new shoots[J]. Journal of China Agricultural University,2013,18(6):126-131.

[27] 戴文圣,王白坡,钱银才,等. 拉枝对不同品种幼龄梨树生长结果的影响[J]. 浙江林学院学报,1996,13(2):123-129.
DAI W S,WANG B P,QIAN Y C,et al. Branch drawing influence on growth and fruit setting for young tree of pear varieties[J]. Journal of Zhejiang A&F University,1996,13(2):123-129.

[28] 刘小阳,李玲,史宏伟,等. 光强对砀山酥梨果实发育期可溶性糖、可滴定酸和V_C含量的影响[J]. 林业科学,2007,43(7):134-137.
LIU X Y,LI L,SHI H W,et al. Influence of light intensity on soluble sugar, organic acid and V_C content of *Pyrus bretschneideri* cv. Dangshansu pear fruit in its growth phase[J]. Scientia Silvae Sinicae,2007,43(7):134-137.

[29] 施泽彬,戴美松,孙田林,等. 翠冠与玉冠梨果实发育过程中色素、糖、酸累积特性研究[J]. 果树学报,2007,24(6):833-836.
SHI Z B,DAI M S,SUN T L,et al. Comparative studies on the accumulation process of the pigments, sugar and acid in fruit of Cuiguan and Yuguan pear cultivars[J]. Journal of Fruit Science,2007,24(6):833-836.

[30] 常尚连,于贤昌,于喜艳. 西瓜果实发育过程中糖分积累与相关酶活性的变化[J]. 西北农业学报,2006,15(3):138-141.
CHANG S L,YU X C,YU X Y. Change of sugar accumulation and related enzyme activity during fruit development of watermelon[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2006,15(3):138-141.

(责任编辑:屈李纯)

中国知网 https://www.cnki.net