

苹果树更新修剪对土壤水分及树体生长的影响

李明霞¹, 杜社妮^{2,3}, 白岗栓^{2,3}, 耿桂俊⁴

- (1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 中国水电顾问集团 西北勘测设计研究院, 陕西 西安 710065)

摘要 在渭北高原以苹果树长放修剪为对照,监测盛果末期苹果树更新修剪对果园 0~500 cm 土层土壤水分及树体生长状况的影响。结果表明:更新修剪的果园 0~240 cm 土层土壤水分极显著高于长放修剪,240 cm 土层以下土壤水分与长放修剪无显著差异;更新修剪的果园土壤水分蒸散高峰较高且延迟 30 d 左右,但生长期的平均蒸散强度与长放修剪无显著差异;更新修剪的苹果树翌年新梢总数显著减少,短枝、叶丛枝比例显著降低,中枝、长枝比例显著增加,单果质量、果实产量、经济产值和水分产出率显著提高,但耗水量与长放修剪无显著差异。综上所述,更新修剪改良了果园的土壤水分状况,促进了树体生长,是渭北高原盛果末期苹果树的适宜修剪方法。

关键词 苹果树;长放修剪;更新修剪;土壤水分;生长状况

中图分类号 S 661.1 **文献标志码** A

LI Ming-xia¹, DU She-ni^{2,3}, BAI Gang-shuan^{2,3}, GENG Gui-jun⁴ (1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. HydroChina Xibei Engineering Corporation, Xian 710065, China)

Effects of renewal pruning on soil moisture and growth of apple tree. Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.), 2012, 38(4): 467-476

Abstract Compared with long-branch pruning of apple tree in Weibei Plateau of Shaanxi Province, the effects of renewal pruning on soil moisture in 0-500 cm soil depths and the growth of apple tree at final full productive stage were determined. The results showed that soil moisture in 0-240 cm depths was significantly increased by renewal pruning, and soil moisture below 240 cm soil layer had not significant difference between renewal pruning and long-branch one from sprout stage to defoliation stage. The peak of soil evapotranspiration intensity by renewal pruning was higher and delayed 30 d than that by long-branch one, but the average intensity had not significant difference between renewal pruning and long-branch one during the growth period of apple tree. Renewal pruning reduced significantly the total number of branches per tree in next year, the proportion of short and foliage branches, and increased significantly the proportion of long, medium branches. Meanwhile, renewal pruning increased

收稿日期: 2011-09-01

基金项目:中国科学院水利部水土保持研究所前沿领域“更新修剪对苹果树生长的影响”资助项目(C127);国家“十二五”科技支撑计划“梁峁丘陵沟壑区农田耕作及林草生物措施防蚀及资源高效利用关键技术集成与示范”资助项目(2011BAD31B05-02)。

作者简介:李明霞(1984—),女,陕西靖边人,硕士研究生,主要从事果树生态方面的研究。E-mail: minghui_yang_9755@163.com。

通信作者:白岗栓,男,研究员,主要从事果树栽培方面的研究。E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn。

significantly fruit yields and fruit mass, improved significantly orchard economic value and water output ratio, but had not significant difference in water consumption compared with long-branch pruning. As a result, renewal pruning improve soil moisture and promote growth of apple tree, which is an appropriate pruning method for apple tree at final full productive stage in Weibei Plateau of Shaanxi Province.

Key words apple tree; long-branch pruning; renewal pruning; soil moisture; growth status

土壤水分与果树生长、开花结果密切相关,土壤水分亏缺往往决定了果树的生產能力^[1]。渭北高原是我国乃至世界的优质苹果(*Malus domestica* Borkh.)产区,但地处半干旱、半湿润地带,地下水位深,无灌溉水源,且降水量有限,年度、季节分配不均,往往影响苹果的产量和品质^[2-3]。目前,渭北高原在苹果盛果期及盛果末期果园深层土壤出现了干层,影响了深层土壤对果园土壤水分的调节^[4],导致果园土壤水分亏缺与高产优质之间的矛盾进一步加剧。渭北高原农村的支柱产业是苹果,苹果与当地的经济及生态环境建设密切相关^[5-7]。覆盖、种草及产量调控等对果园土壤水分及果实产量、品质具有一定的调节作用^[8-12],但仍难以阻止果园土壤水分的继续亏缺。果树修剪是果树生产中的重要管理措施,更新修剪对盛果期及盛果末期苹果树的树体营养、光合速率、产量、品质等有显著影响^[13-14],而有关更新修剪对果园土壤水分调控方面的报道较少。本试验以渭北高原常规的长放修剪为对照,监测盛果末期苹果园采用更新修剪对果园土壤水分及树体生长的影响,旨在为果树修剪及土壤水分管理提供指导。

1 材料与方 法

1.1 试验地自然条件

试验地位于陕西省长武县洪家镇王东村,地处渭北高原,海拔 1 200 m,年日照时数 2 226.5 h,日照百分率 51%;年均气温 9.1℃,≥10℃积温 3 029℃;年降雨量 584 mm,无霜期 171 d。试验地土壤为黑垆土,土层 50~80 m,无灌溉条件,为雨养农业。试验地耕层土壤容重为 1.30 g·cm⁻³,20~500 cm 土层土壤容重在 1.32~1.35 g·cm⁻³之间,耕层田间持水量为 22.0%,萎蔫系数为 9.2%。

1.2 试验材料与处理

试验材料为 1986 年定植的红富士苹果,小冠疏层形,株行距 3.0 m×4.0 m,砧木为新疆野苹果[*Malus sieversii* (Ldb.) Roem.],面积为 15 hm²,东西行向。试验树高 3.4~3.6 m,冠径 3.6~3.8 m,干径 13.0~15.0 cm。试验树处于盛果末期,内膛易滋生徒长枝,而树冠外围延长枝生长细弱,长度为 15.0~20.0 cm,直径 0.38~0.42 cm。单株 1 年生枝量为 2 400 枝左右,前 3 年平均株产 40.0~45.0 kg,单果质量 183.0 g。在进行试验之前,该园一直采用长放修剪。

长放修剪。冬季疏除内膛的徒长枝,剪除重叠枝和极度衰弱的下垂枝(1 年生枝长度<3.0 cm)。外围枝采用轻剪长放,培养珠帘式结果枝组或单轴延伸结果枝组,单株 1 年生枝留量为 1 800 枝左右,其中中枝、短枝占 85%以上,不预留花量。长放修剪的修剪量为树体枝量的 20%~25%,树冠大小、树高与修剪前基本相同。翌年春季人工疏花、疏果,留果量为 0.20 C²(C 为树干周长,cm)。

更新修剪。冬季修剪时内膛萌生的 1 年生枝长度>30 cm 长放;长度在 20~30 cm 的斜生枝回缩到 2 年生枝处,直立枝长放或轻短截。树冠外围长度在 10~20 cm 的斜生枝回缩到 3 年生枝处,长度<10 cm 的斜生枝回缩到 4~5 年生枝处。剪除串花枝、腋花芽枝,65%以上的花芽。剪除下垂枝,抬高枝条角度,培养斜上的结果枝组。更新修剪枝条剪除量为树体枝量的 40%~45%,单株 1 年生枝留量为 1 400 枝左右,其中中枝、短枝占 50%~60%;冬季修剪留花量为 0.22 C²,翌年疏花、疏果后留果量为 0.20 C²。修剪后树高 2.80~3.10 m,冠径 3.1~3.2 m。

无论是长放修剪还是更新修剪,果园的施肥、病虫害防治、除草、果实套袋等管理措施均相同。

2009年11月下旬以树势相对一致的12行树作为试验树,每行选地径、树高、冠幅、枝条等长势基本一致的树10株,以2行为1处理,即2行采用长放修剪,2行采用更新修剪,重复3次。从长放修剪和更新修剪中选择树木大小基本一致的各6株进行相关指标的测定。

1.3 采样及测定方法

土壤水分采用中子仪法测定。中子仪为北京渠道科学器材有限公司提供的CNC503B中子仪。冬季修剪结束后在更新修剪、长放修剪处理区分别选择树势基本相同的3株苹果树,在树冠北部外围投影(距树干160cm)处埋设500cm长的中子管,2010年春季土壤解冻后(3月17日)以20cm为一层,将中子仪探头放置到不同深度,测定0~500cm土层土壤水分,每月测定1次(每月17日左右测定,遇降水日则延迟),直到果树落叶(11月17日)。2010年3月到11月不同测定日之间的间隔时间分别为30、31、31、26、35、33、28和31d。为了避免不同修剪对土壤水分的影响,在更新修剪与长放修剪交接的行区不埋设中子管。中子仪测定水分是通过测定慢中子云的密度与水分间的函数关系来确定土壤中的水分含量,根据标定曲线换算成土壤体积含水量,再换算成土壤水层厚度,mm。

$$y=0.8584x/816+0.0037, \quad (1)$$

式中 y 为体积含水量, $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$; x 为中子仪在土壤中测定的原始数据。

$$h=10H_s \cdot y, \quad (2)$$

式中 h 为土壤水层厚度,mm; H_s 为土层厚度,cm; y 为体积含水量, $\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

0~500cm土层土壤水层厚度为0~20, 20~40, ..., 480~500cm土层土壤水层厚度之和。

试验地旁设有气象监测仪,用来测定试验期间的降水量,并统计有效降水量(1次或24h降水量 $>5.0\text{mm}$)。

试验地平整,无灌溉条件,土层深厚及土壤质地均匀,地下水位深,不产生渗漏和地下水补给及水分的水平运动,无灌溉水。根据0~500cm土层土壤水分测定期间的有效降水量和土壤水分含量变化、间隔天数,计算耗水量、果园土壤水分蒸散强度和水分产出率^[15]。

$$E_i = p \pm \Delta h, \quad (3)$$

式中 E_i 为不同生长期田间耗水量,mm; p 为不同生长期间的有效降水量,mm; Δh 为不同生长期土壤水分含量的变化,mm。

$$P = \lambda \cdot p',$$

式中 λ 为降水有效利用系数; p' 为降水量,mm。当1次降水量或24h降水量 $<5\text{mm}$ 时, λ 为0;当降水量 $\geq 5\text{mm}$ 时, λ 为1.00。

$$E_i = E_i / \Delta d, \quad (4)$$

式中 E_i 为不同生长期间的土壤水分蒸散强度, $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$; Δd 为不同测定期间的间隔时间,d。

$$\text{WPR} = Y / E_i, \quad (5)$$

式中WPR为水分产出率, $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$; Y 为苹果产量, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2010年果实采收期(10月1日)在树冠上部、中部和下部中外围各随机采10个果实,用于测定单果质量。果实采收期测定单株产量(包含采样果实),根据当时市场价格折算单株产值。

2010年落叶后(11月20日)测定树冠高和冠径,根据冠高、冠径计算扁圆形树冠体积^[16]。

$$V = 1/6 D^2 L \pi, \quad (6)$$

式中 V 为树冠体积, m^3 ; D 为冠径,m; L 为冠层高度,m; π 为圆周率。

2010年落叶后(11月20日)在树冠外围南部、北部各选1.0 m^3 树冠,调查徒长枝(长度 $\geq 30.0\text{cm}$)、长枝(15.0 $\text{cm} \leq$ 长度 $< 30.0\text{cm}$)、中枝(5.0 $\text{cm} \leq$ 长度 $< 15.0\text{cm}$)、短枝(1.0 $\text{cm} \leq$ 长度 $< 5.0\text{cm}$)、叶丛枝(长度 $< 1.0\text{cm}$)的数量及比例,同时调查营养枝与结果枝的数量及比例,计算树木枝条量及不同枝条所占的比例。

1.4 数据处理

试验数据采用2个样本平均数测验其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 对土壤水分的影响

苹果生长期间降水448.6mm,其中有效降水418.4mm。8月和9月降水量(不同月份的降水量为前后2次土壤水分测定日期间的降水量)分别为131.6和113.2mm,占生长期降水量的29.34%和25.23%。8月和9月有效

降水分别为 131.6 和 110.4 mm, 占生长期有效降水量的 31.45% 和 26.39% (图 1)。

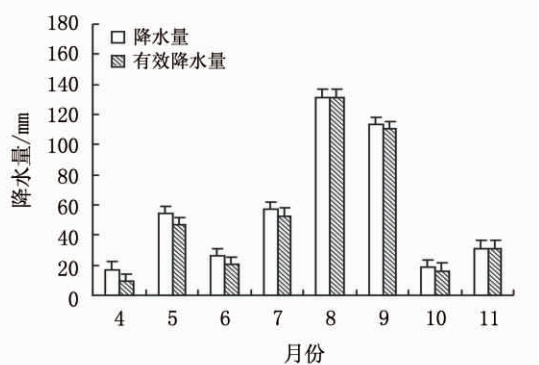


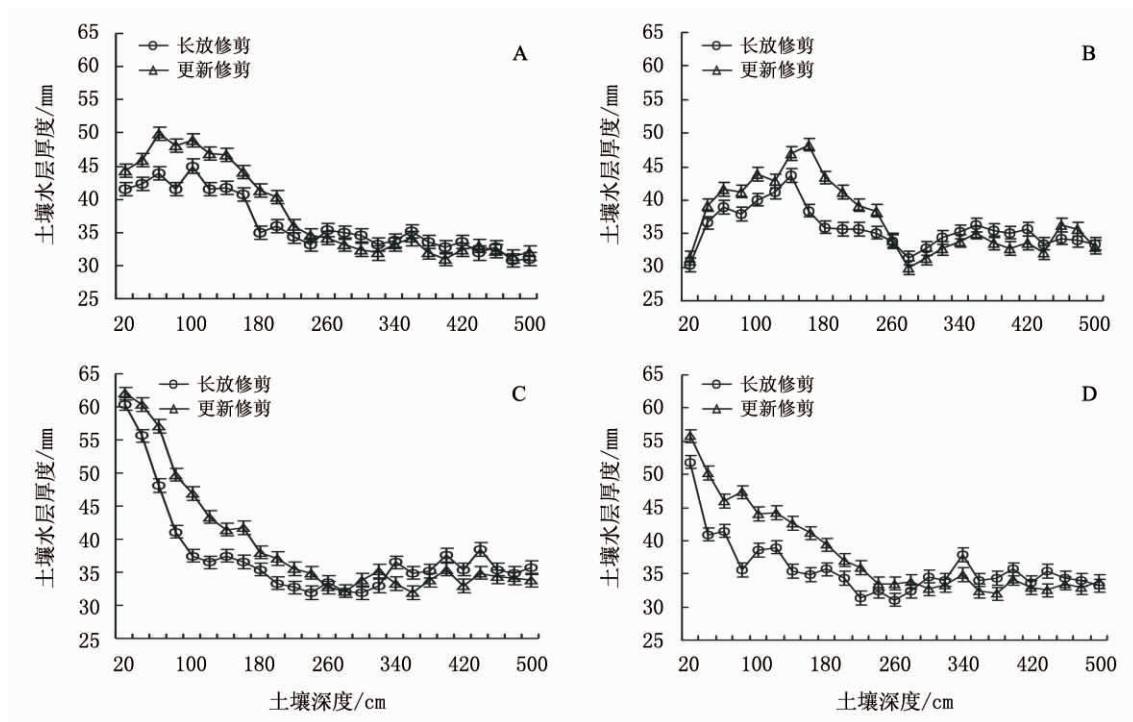
图 1 苹果生长期期间的降水量和有效降水量

Fig. 1 Precipitation and effective precipitation during the growth period of apple

试验地无灌溉条件, 果园土壤水分变化主要受降水、果树蒸腾和土壤蒸发的影响。在果树生长的不同时期, 0~500 cm 土层土壤水分垂直变化可划分为 3 个层次, 其中 0~140 cm 土层土壤水分受降水影响较大, 在旱季即花芽分化期(6 月)较低, 在雨季即采前膨大期(9 月)较高; 140~240 cm

不同时期均表现为持续降低; 240~500 cm 土层土壤水分含量较低, 在果树生长的不同时期比较稳定, 变化平缓(图 2)。

长放修剪、更新修剪 0~140 cm 土层土壤水分含量从 3 月到 7 月均逐渐降低, 7 月达到最低值, 主要是 3 月到 7 月降水量较小, 苹果树从萌芽、开花、枝条快速生长、叶幕大量形成及萌芽开花期根系的第 1 次生长高峰等均需消耗大量的土壤水分; 特别是 7 月份叶幕基本形成, 长放修剪的叶面积指数已达到最大值^[17], 气温也达到全年最高值, 叶片蒸腾消耗的水分多, 故 0~140 cm 土层土壤水分含量达到最低值。8 月、9 月阴雨天多, 降水量较多, 叶片的蒸腾强度降低, 因而 0~140 cm 土层土壤水分含量均逐渐上升, 到 9 月达到最高值。10 月、11 月降水量降低, 受果树根系第 2 个生长高峰的影响, 0~140 cm 土层土壤水分含量也逐渐降低。从 3 月到 11 月, 更新修剪 0~140 cm 土层土壤水分含量平均值极显著高于长放修剪, 其中 3、4、7、9、10 和 11 月差异极显著 ($P < 0.01$), 5 和 6 月差异显著 ($P < 0.05$), 仅 8 月份差异不显著(表 1)。



A: 开花期(4 月); B: 花芽分化期(6 月); C: 采前膨大期(9 月); D: 落叶期(11 月)。

图 2 不同生长时期的土壤水分

Fig. 2 Soil moisture of different pruning during different growth periods

表1 在不同的修剪方式下果园土壤的水层厚度
Table 1 Thickness of soil water layer at different pruning ways

土层深度/cm		月份									平均值
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0~140	长放修剪	297.27	297.29	291.29	268.66	246.15	293.91	316.79	282.69	298.37	288.05
	更新修剪	335.09**	330.81**	321.15*	287.07*	276.62**	305.32	360.78**	330.08**	340.33**	320.81**
	差值	-37.82	-33.52	-29.86	-18.41	-30.47	-11.41	-43.99	-47.39	-41.99	-32.76
140~240	长放修剪	179.21	179.11	181.76	180.95	176.25	181.49	169.83	168.65	168.09	176.15
	更新修剪	199.04*	196.45*	204.85**	210.57**	207.41**	198.11*	187.16*	187.03*	193.53**	198.24**
	差值	-19.83	-17.34	-23.09	-29.62	-31.16	-16.62	-17.33	-18.38	-25.44	-22.09
240~500	长放修剪	443.01	433.14	442.67	445.68	448.46	430.32	454.47	444.86	441.38	442.67
	更新修剪	427.34	422.63	443.85	434.27	444.17	425.72	438.08	432.31	425.22	432.62
	差值	15.67	10.51	-1.18	11.41	4.29	4.60	16.39	12.55	16.16	10.04
0~500	长放修剪	919.49	909.54	915.72	895.29	870.86	905.72	941.09	896.20	907.84	906.86
	更新修剪	961.47*	949.89*	969.85*	931.91	928.20*	929.15	986.02*	949.42*	959.08*	951.67*
	差值	-41.98	-40.35	-54.13	-36.62	-57.34	-23.43	-44.93	-53.22	-51.24	-44.80

注: *表示与对照相比,在 $P < 0.05$ 水平差异显著; **表示与对照相比,在 $P < 0.01$ 水平差异极显著。

长放修剪 140~240 cm 土层土壤水分从 3 月到 8 月基本在 180 mm 左右波动,更新修剪在 200 mm 左右波动;9 月到 11 月,长放修剪在 169 mm 左右波动,更新修剪在 190 mm 左右波动,该现象主要与该区域土壤水分特征与果树生长特性密切相关。萌芽开花期是苹果根系生长的第 1 个高峰,该期 140~240 cm 土层经过漫长的冬季,上年度雨季的降水入渗到该层,土壤水分得到补给,处于相对较高的水平,由于根系生长的第 1 个高峰持续时间短,峰值低,对土壤水分影响较小,因而土壤水分变化幅度较小,基本处于同一水平。果实采前膨大期到落叶期(9 月到 11 月)是苹果根系生长的第 2 个高峰,持续时间长,峰值高,对土壤水分影响较大,且当年雨季的降水没有入渗到该层,因而 9 月到 11 月土壤水分降低。3 月到 11 月,更新修剪 140~240 cm 土层土壤水分平均值极显著高于长放修剪,其中 3、4、8、9 和 10 月差异显著,5、6、7 和 11 月差异极显著(表 1)。

长放修剪 240~500 cm 土层土壤水分在整个生长期基本在 442.0 mm 波动,更新修剪在 432.0 mm 波动,均低于田间持水量的 60%(田间持水量为 60%时 240~500 cm 土层土壤水分分为 459.89 mm),成为“干层土壤”。“干层土壤”是降水不足与果树蒸腾过度消耗的多年共同作用的结果,该层土壤水分无恢复迹象。与

更新修剪相比,长放修剪 240~500 cm 土层土壤水分较高,但未达到显著差异;更新修剪 240~500 cm 土层土壤水分较低,可能是更新修剪刺激了长枝、中枝的大量萌发与生长,同时也刺激了深层根系生长^[18],导致深层根系耗水量增加,土壤水分降低。

长放修剪 0~500 cm 土层土壤水分从 3 月到 7 月基本处于持续降低阶段,其中 7 月降低到最低值,而更新修剪从 3 月到 8 月基本处于持续降低阶段,其中 7 月、8 月土壤水分均较低。长放修剪与更新修剪 0~500 cm 土层土壤水分均在 9 月恢复到最大值,10 月、11 月又开始缓慢降低。长放修剪、更新修剪 0~500 cm 土层土壤水分变化主要随 0~140 cm 土层土壤水分的变化而变化。3 月到 11 月,更新修剪 0~500 cm 土层土壤水分平均值显著高于长放修剪,其中 3、4、5、7、9、10 和 11 月差异显著,6 和 8 月差异不显著(表 1)。

更新修剪与长放修剪相比,除 240~500 cm 土层土壤水分略低于长放修剪外,其他土层土壤水分均高于长放修剪。更新修剪的土壤水分高于长放修剪,主要是更新修剪后树冠体积缩小,萌发的枝条、叶片较长放修剪的少,因而蒸腾耗水较低,故土壤水分较高。长放修剪 0~500 cm 土层土壤水分 7 月份达到最低值,主要是长放修剪萌发的叶丛枝、短枝较多,生长期

短,叶面积指数在7月达到最大值,叶片的蒸腾量达到高峰,因而7月土壤水分较低,而更新修剪萌发的长枝、中枝较多,长枝、中枝的生长期长,叶面积指数在8月达到最大值,8月应为更新修剪0~500 cm 土层土壤水分最低值,但由于8月降水量较大,补充了更新修剪叶片蒸腾消耗的水分,因而更新修剪在7和8月0~500 cm 土层土壤水分均较低。8和9月降水量大,因而0~140 cm 土层土壤水分显著升高,于9月达到最大值。140 cm 土层以下的土壤水分受当年降水的影响较小,受根系生长的影响较大,因而8和9月土壤水分仍维持在较低的水平。

2.2 对土壤水分蒸散强度的影响

土壤水分蒸散强度与气候环境、土壤水分、作物生长状况等密切相关。随着苹果树的生长,长放修剪的叶面积指数在7月达到最大值^[17],果园土壤水分消耗量在7月达到最大值,而3月到7月降水量较少,因此长放修剪0~500 cm 土层土壤水分蒸散强度在7月达到高峰。由于更新修剪的叶面积指数在8月达到最大值,果树在8月耗水最多,因而果园土壤水分蒸散强度高峰出现在8月(图3)。9月土壤蒸散强度较低,主要是9月持续多日的降水抑制了土壤蒸发和树木蒸腾。随着气温的降低及果实的采收、叶片的脱落,树木蒸腾耗水量降低,因而10和11月果园土壤水分蒸散强度降低。

试验地无灌溉条件,土壤水分蒸散高峰主要受降水量、土壤蒸发和树木蒸腾的影响。不同修剪方式的苹果树处于同一块试验地,降水状况与土壤条件相同,不同修剪方式的土壤水分蒸散强度主要与树木蒸腾密切相关。更新修剪0~500 cm 土层土壤水分的蒸散强度在4、6和8月极显著高于长放修剪,长放修剪在5、7和10月极显著高于更新修剪(表2)。更新修剪与

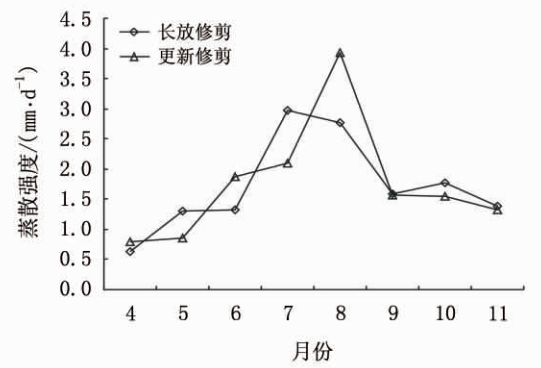


图3 不同修剪果园土壤水分蒸散强度

Fig. 3 Soil evapotranspiration intensity of different pruning

长放修剪在不同月份土壤水分蒸散强度差异极显著,主要与不同修剪的枝条、叶片生长发育密切相关。试验树龄24 a,处于盛果末期,长放修剪的留枝量大,由于树势衰弱,萌芽、开花均被更新修剪的树早3~4 d。由于长放修剪的留枝量、留花量大,开花座果期生长势弱,消耗的土壤水分较少;而更新修剪的树留枝量小,萌芽、开花晚,但开花座果期新梢生长茂盛,叶片张开速度较快,蒸腾消耗的土壤水分较多,因而4月的土壤水分蒸散强度高于长放修剪。长放修剪的留枝量大,萌发的枝条较多,随着枝条的生长,5月份的叶面积指数大于更新修剪,蒸腾消耗的水分多,因而5月的土壤水分蒸散强度高于更新修剪。长放修剪的树萌发的叶丛枝、短枝所占比例较大,生长期短,6月大多数枝条已处于缓慢生长期或停止生长,而更新修剪萌发的长枝、中枝所占比例较大,6月份仍处于旺盛生长期,由于嫩梢、嫩叶蒸腾消耗量大,故更新修剪6月的土壤水分蒸散强度高于长放修剪。由于叶丛枝、短枝的生长期短,长放修剪的枝条在7月基本停止生长,叶面积指数达到最大值,而更新修剪的长枝、中枝在7月仍缓慢生长,叶面

表2 不同修剪果园土壤水分蒸散强度

Table 2 Soil evapotranspiration intensity of different pruning

mm·d⁻¹

项目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	平均值
长放修剪	0.63	1.30**	1.32	2.97**	2.76	1.58	1.77**	1.38	1.71
更新修剪	0.79**	0.86	1.88**	2.10	3.93**	1.56	1.55	1.32	1.75
差值	-0.16	0.44	-0.56	0.87	-1.17	0.02	0.22	0.06	0.04

注: **表示在 $P < 0.01$ 水平差异极显著。

积指数未达到最大值,故更新修剪 7 月的土壤水分蒸散强度低于长放修剪。更新修剪的长枝、中枝在 8 月停止生长,叶面积指数达到最大值,故 8 月的土壤水分蒸散强度高于长放修剪。9 月阴雨天多,降水量大,抑制了叶片的蒸腾,故长放修剪与更新修剪的土壤水分蒸散强度间无显著差异。由于长放修剪的树冠体积大,叶面积指数高,蒸腾消耗的土壤水分高,故 10 月长放修剪的土壤水分蒸散强度高于更新修剪。11 月苹果树进入落叶期,叶片的蒸腾作用已经降低,土壤水分的蒸发作用占主导作用,故不同修剪的土壤水分蒸散强度无显著差异。

2.3 对枝条和树体生长的影响

渭北高原为半干旱、半湿润季风气候区,果树从萌芽到花芽分化期即 3 月到 7 月,降水量较少,土壤水分不足,往往抑制果树生长。渭北高原盛果末期苹果树树势衰弱,采用更新修剪方法,留枝量比长放修剪少,单个枝条从根系吸收和得到供应的水分、养分相对长放修剪的多,有利于枝条萌发与生长;更新修剪剪除衰弱枝、下垂枝,抬高枝条生长角度,减少留枝量与留花

量,有利于根系吸收的水分、养分运输,同时也有利于叶片光合产物向根系、果实运输与贮藏,促进根系、果实生长;当根系生长良好时,根系会进一步促进枝条及叶片生长,因此,更新修剪极显著提高了徒长枝、长枝的数量及比例,显著提高了中枝的数量及比例,极显著降低了短枝、叶丛枝的数量及比例,极显著增加了营养枝和腋花芽枝的数量及比例,极显著降低了串花枝、一般结果枝的数量及比例(表 3)。由于更新修剪留枝量少,萌发的枝条相对较少,因此,更新修剪极显著降低了单位树冠体积中的枝条数量及 1 年生枝条总量(表 4)。

更新修剪大幅度降低了树高,缩小了树冠,但由于更新修剪后树势较强,经过一个生长期的生长,更新修剪的树高、树冠高度均略低于长放修剪,与长放修剪的树无显著差异;更新修剪后枝条的直立生长较强,斜向生长及横向生长较弱,故更新修剪的树冠冠径显著小于长放修剪。由于更新修剪的树冠冠径显著降低,树冠高度略微降低,故更新修剪的树冠体积极显著降低(表 4)。

表 3 不同修剪方式对枝条生长的影响

Table 3 Effects of different pruning ways on branch growth

Number · m⁻³

修剪方式	不同长度的枝条数					营养枝	结果枝				合计
	徒长枝	长枝	中枝	短枝	叶丛枝		腋花芽枝	串花枝	一般结果枝	小计	
长放修剪	0.61	8.24	19.09	57.78**	123.71**	3.90	0.54	24.67**	180.32**	205.53**	209.44**
	(0.29)	(3.93)	(9.11)	(27.59)	(59.07)	(1.86)	(0.26)	(11.78)	(86.10)	(98.14)	(100)
更新修剪	1.91**	15.21**	24.90*	32.40	62.53	10.46**	9.39**	7.85	109.25	126.49	136.95
	(1.39)	(11.11)	(18.18)	(23.66)	(45.66)	(7.64)	(6.86)	(5.73)	(79.77)	(92.36)	(100)

注:括号内的数据为百分比例/%; *表示不同修剪方式在 P<0.05 水平差异显著, **表示在 P<0.01 水平差异极显著。

表 4 不同修剪方式对树体生长的影响

Table 4 Effects of different pruning ways on tree growth

修剪方式	树高/m	冠径/(m×m)	树冠高度/m	树冠体积/(m ³ ·tree ⁻¹)	1年生枝量	单果质量/g	产量/(kg·tree ⁻¹)	单价/(RMB·kg ⁻¹)	产值/(RMB·tree ⁻¹)
长放修剪	3.38	3.86×3.71*	2.46	18.45**	3864.17**	203.8	42.6	3.85	164.01
更新修剪	3.25	3.64×3.52	2.35	15.77	2159.74	236.8**	54.8**	4.20**	230.16**

注: *表示不同修剪方式在 P<0.05 水平差异显著, **表示在 P<0.01 水平差异极显著。

更新修剪与长放修剪留果量相同,虽然更新修剪萌发的枝条数量少,叶面积指数低,但更新修剪萌发的长枝、中枝数量及比例大,长枝、中枝的叶片光合速率高^[14],叶片功能寿命长,光合积累产物多,同时更新修剪去除了下垂枝、衰弱枝等,有利于光合产物向果实运输,利于果实生长;此外,更新修剪在冬季修剪时留花量少,留枝量少,春季花芽发育及开花座果时可得到相对较多的水分、养分,有利于果实生长发

育,因而单果质量极显著提高;随着单果质量的提高,果实产量及果实价格得到极显著提高,果园产值极显著提高(表4)。

2.4 对水分产出率的影响

从萌芽到落叶,更新修剪果园的耗水量(0~500 cm 土层)略低于长放修剪,但无显著差异;由于更新修剪的果园产量极显著提高,故更新修剪的土壤水分产出率也极显著提高(表5)。

表5 不同修剪方式对水分产出率的影响

Table 5 Water output ratio of different pruning ways

修剪方式	0~500 cm 土层土壤水分贮量		有效降水量/mm	耗水量/mm	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分产出率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
	萌芽期(3月)	落叶期(11月)				
长放修剪	919.49	896.20	418.4	441.69	35 500.0	80.37
更新修剪	961.47	944.42	418.4	435.45	45 666.7	104.87**

注: **表示不同修剪方式在 $P < 0.01$ 水平差异极显著。

3 讨论

渭北高原为半干旱、半湿润季风气候区,绝大多数果园无灌溉条件,苹果树根系分布深度可达4.5 m左右,果园土壤水分变化主要受降水、果树蒸腾和土壤蒸发的影响。渭北高原3月到7月降水量较小,随着果树的生长及叶面积指数的不断提高,不同修剪方式下0~140 cm 土层土壤水分含量逐渐降低,7月达到最低值;8和9月降水量大,0~140 cm 土层土壤水分含量逐渐上升,到9月达到最高值;10和11月降水量降低,0~140 cm 土层土壤水分含量也逐渐降低。受降水及果树生长的影响,果园0~140 cm 土层土壤水分变化较大。渭北高原盛果末期苹果园140~240 cm 土层土壤水分从3月到8月含量较高,主要是3月到8月该层土壤受上年雨季降水入渗的影响,春季土壤水分含量较高,且萌芽开花期根系的第1个生长高峰持续时间短,峰值低,对该层土壤水分影响小;140~240 cm 土层土壤水分9月到11月较低,主要是该区域降水量比较少,果树根系大多数分布于0~40 cm 土层^[19],当年降水大多被

上层根系吸收、拦截,难以下渗到140~240 cm 土层,而9月到11月为苹果根系生长的第2个高峰,且该期根系生长高峰持续时间长,峰值高,消耗的水分较多,故9月到11月土壤水分较低。240~500 cm 土层土壤得不到降水入渗的补充,故其在整个生长期均维持在较低的水平,成为“干层土壤”。更新修剪240~500 cm 土层土壤水分低于长放修剪,可能与更新修剪刺激了长枝、中枝的大量萌发与生长,同时也刺激了深层根系生长,导致深层根系耗水量增加,土壤水分降低。

更新修剪显著提高了0~240 cm 土层土壤水分含量,主要是更新修剪后树冠体积缩小,萌发的枝条、叶片少,因而蒸腾耗水较低,故土壤水分较高。长放修剪0~500 cm 土层土壤水分7月份达到最低值,主要是长放修剪萌发的叶丛枝、短枝较多,叶面积指数在7月达到最大值,且7月降水量较少,因而7月土壤水分较低,而更新修剪萌发的长枝、中枝较多,长枝、中枝的生长期长,叶面积指数在8月达到最大值,8月应为更新修剪0~500 cm 土层土壤水分最低值,但由于8月降水量较大,补充了更新修剪叶片蒸腾消耗的水分,因而更新修剪在7和8

月土壤水分均较低。长放修剪与更新修剪 0~500 cm 土层土壤水分蒸散强度在不同月差异显著,主要是更新修剪后萌发的中枝、长枝较多,中枝、长枝的生长期长,与叶丛枝、短枝的生长高峰不同步,因而不同月出现不同的差异。

渭北高原 3 月到 7 月为半干旱期,更新修剪留枝量、留花量少,萌发的枝条及开花量少,叶片蒸腾消耗的土壤水分少,从而提高了土壤水分含量;更新修剪与长放修剪相比,萌发的枝条从根系吸收和供应的水分、养分多,且更新修剪剪除衰弱枝、下垂枝,抬高枝条生长角度,有利于根系吸收的水分、养分向叶片、果实运输,同时也有利于叶片光合产物向根系、果实运输,促进根系、果实生长;且当根系生长良好时,根系会进一步促进枝条、叶片及果实生长;因此,更新修剪显著提高了长枝、中枝的数量及比例,降低了短枝、叶丛枝的数量及比例,提高了单果质量、果实产量及产值。

渭北高原为半干旱、半湿润地区,春夏季降水量小而蒸散量高,新梢、果实等在开花座果后生长迅速,土壤水分不足往往抑制了苹果的正常生长。更新修剪的土壤水分蒸散强度在生长前期较低且峰值延迟,有利于缓解果树生长前期快速生长与土壤水分供应不足的矛盾,有利于枝条、果实生长。更新修剪提高了土壤水分,提高了果实产量,与邹养军等^[20]的 0~200 cm 土层土壤水分越高产量越高的结论相一致。

4 结论

4.1 从萌芽到落叶,更新修剪显著提高了翌年生长期 0~240 cm 土层土壤水分,但对 240 cm 以下土层土壤水分无显著影响。更新修剪与长放修剪的耗水量无显著差异,但显著提高了水分产出率。

4.2 更新修剪的土壤水分蒸散强度高峰较高且延迟 30 d 左右,但生长期平均土壤水分蒸散强度与长放修剪无显著差异。

4.3 更新修剪显著减少了翌年新梢数量,增加了中枝、长枝的比例,减少了短枝、叶丛枝的比例;更新修剪显著提高了营养枝的比例,减少了结果枝的比例;更新修剪显著提高了果树产量、

单果质量以及经济产值。

渭北高原为雨养果园,盛果末期苹果树应根据树势,采用短接、回缩等更新修剪方法,调整营养生长与结果的矛盾,减少树木蒸腾,提高土壤水分,达到连年优质丰产。

References:

- [1] Hernández A J, Lacasta C, Pastor J. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rain-fed olive orchard [J]. *Agricultural Water Management*, 2005,77: 232-248.
- [2] HUANG Ming-bin, LI Xin-min, LI Yu-shan (黄明斌, 李新民, 李玉山). Effect of apple base on regional water cycle in Weibei up-land of the Loess Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica (地理学报)*, 2001,56 (1): 7-13. (in Chinese)
- [3] MA Xiao-yi, WANG Wen-e, KANG Shao-zhong, et al. (马孝义, 王文娥, 康绍忠, 等). The relationship between apple production and rainfall and the compensation irrigation period in north Shaanxi and Weibei [J]. *Agricultural Meteorology (中国农业气象)*, 2002,23(1):25-28. (in Chinese)
- [4] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000:86-133.
- [5] LIU Xian-zhao, HUANG Ming-bin (刘贤赵, 黄明斌). Status of soil water environment in apple orchards located in the area of Weibei Plateau [J]. *Journal of Fruit Science (果树学报)*, 2002, 19 (2): 75-78. (in Chinese)
- [6] HE Fu-hong, HUANG Ming-bin, DANG Ting-hui (何福红, 黄明斌, 党廷辉). Distribution characteristic of dried soil layer in Wangdonggou Watershed in gully region of the Loess Plateau [J]. *Research of Soil and Water Conservation (水土保持研究)*, 2003,10(2):33-37. (in Chinese).
- [7] LI Song, GONG Chun-wang, CAI Xiao-chun, et al. (李松, 宫春旺, 蔡小春, 等). Study on demonstration of orchards building in Loess Plateau on mountain slope land [J]. *Journal of Soil Water Conservation (水土保持学报)*, 2003,17(5):138-142. (in Chinese)
- [8] GAO Mao-sheng, WEN Xiao-xia, HUANG Ling-dan, et al. (高茂盛, 温晓霞, 黄灵丹, 等). The effect of tillage and mulching on apple orchard soil moisture and soil fertility [J]. *Journal of Natural Resources (自然资源学报)*, 2010,25(4):548-555. (in Chinese)
- [9] GAO Mao-sheng, LIAO Yun-cheng, LI Xia, et al. (高茂盛, 廖允成, 李侠, 等). Effects of different mulching patterns on soil water-holding capacity of non-irrigated apple orchard in the Weibei Plateau [J].

- Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2010, 43(10):2080-2087. (in Chinese)
- [10] ZHAO Zheng-yang, LI Hui-ke (赵政阳, 李会科). The effects of interplant different herbage on soil water in apple orchards in the area of Weibei Plateau [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2006, 33(3):481-484. (in Chinese)
- [11] LI Hui-ke, ZHAO Zheng-yang, ZHANG Guang-jun (李会科, 赵政阳, 张广军). The theory and practice of grass interplanting in orchards [J]. *Pratacultural Science* (草业科学), 2005, 22(8):32-36. (in Chinese)
- [12] ZHANG Yi, XIE Yong-sheng, JU Yan, *et al.* (张义, 谢永生, 鞠艳, 等). Effects of controlling apple orchard productivity on soil moisture and photosynthetic characteristics [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2010, 34(8):973-978. (in Chinese)
- [13] LI Ming-xia, BAI Gang-shuan, YAN Ya-dan, *et al.* (李明霞, 白岗栓, 闫亚丹, 等). Effects of renewal pruning on mountain apple tree's nutrition and growth [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2011, 38(1):139-144. (in Chinese)
- [14] LI Ming-xia, GENG Gui-jun, BAI Gang-shuan, *et al.* (李明霞, 耿桂俊, 白岗栓, 等). Effect of renewal pruning on apple photosynthetic ability and fruit quality in final full productive stage [J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition* (西北农林科技大学学报:自然科学版), 2011, 39(1):179-185. (in Chinese)
- [15] DU She-ni, BAI Gang-shuan, ZHAO Shi-wei, *et al.* (杜社妮, 白岗栓, 赵世伟, 等). Effects of Wote super absorbent and PAM with different application methods on soil moisture and maize growth [J]. *Transactions of the CSAE* (农业工程学报), 2008, 24(11):30-35. (in Chinese)
- [16] 陕西省果树研究所, 中国粮油食品进出口公司陕西省分公司. 苹果基地技术手册[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1983:488-492.
- [17] DU She-ni, LI Ming-xia, GENG Gui-jun, *et al.* (杜社妮, 李明霞, 耿桂俊, 等). Effect of renewal pruning on apple canopy and fruit quality [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2012, 21(4):106-110. (in Chinese)
- [18] 束怀瑞. 苹果学[M]. 北京:中国农业出版社, 1999:483.
- [19] 杨文衡, 陈景新. 果树生长与结实[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1986:11-28.
- [20] ZOU Yang-jun, CHEN Jin-xing, MA Feng-wang, *et al.* (邹养军, 陈金星, 马锋旺, 等). Characteristics of soil moisture change of apple orchards of different planting years in Weibei dryland [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2011, 29(1):41-43, 47. (in Chinese)