

整地时期对土壤物理性质及苹果幼树的影响

杜社妮^{1,2}, 白岗栓^{1,2}, 耿桂俊², 李明霞³, 惠涛⁴

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 陕西省安塞县延河流域世行贷款项目办公室, 陕西 安塞 717400)

摘要: 为了提高陕北黄土丘陵沟壑区苹果幼树的栽植成活率和保存率, 对3个穴状整地时期的土壤物理性状及苹果幼树生长状况进行了监测研究。结果表明, 穴状整地后土壤容重降低, 土壤总孔隙度和非毛管孔隙度提高。雨季前穴状整地提高了春季和幼树生长前期的土壤水分, 减小了土壤日温差, 提高了苗木成活率, 促进了树体生长。但雨季后和春季穴状整地降低了春季和幼树生长前期的土壤水分, 加大了土壤日温差, 降低了苗木成活率, 削弱了树体生长, 并且加深了定植当年的地面塌陷深度, 降低了苹果幼树冬春季的枝条含水量, 提高了枝条抽条指数, 降低了苗木保存率。陕北丘陵沟壑区栽植苹果时应该在雨季前穴状整地。

关键词: 穴状整地时期; 土壤物理性质; 苹果幼树; 成活率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0190-06

中图分类号: S152, S661.1

Effects of Soil Preparation Period on Soil Physical Properties and Young Apple Tree Growth

DU She-ni^{1,2}, BAI Gang-shuan^{1,2}, GENG Gui-jun², LI Ming-xia³, HUI Tao⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Ansai Item Bureau for Yanhe River Harness with the Financial Aid from the World Bank's Loan, Ansai, Shaanxi 717400, China)

Abstract: In order to increase the livability and survival rate of young apple trees in the loess hilly and gully areas of Northern Shaanxi Province, soil physical properties and young apple tree growth were monitored by the three treatments of soil preparation by digging hole before rainy season, after rainy season, and in spring. Results showed that soil bulk density was decreased and soil total porosity and soil non-capillary porosity were increased after soil preparation by digging hole. For the treatment of soil preparation by digging hole before rainy season, soil moisture was increased in spring and tree growth prophase period; soil temperature difference between daily max-temperature and daily min-temperature was decreased; tree livability was increased; and tree growth was promoted. However, for the treatments of soil preparation by digging hole after rainy season and in spring, soil moisture was decreased; soil temperature difference was increased; tree livability was reduced; tree growth was weakened; ground subsidence depth was deepened in plant year; branch water content was reduced in the winter and spring; branch shriveling index was increased; and tree survival rate was decreased. Soil preparation by digging hole before rainy season is suggested when apple trees were planted in the loess hilly and gully area of Northern Shaanxi Province.

Keywords: period of soil preparation by digging hole; soil physical property; young apple tree; livability

土壤是生态系统中物质和能量交换的重要场所, 是果树生长发育的基础。土壤容重和孔隙度影响土壤的蓄水性 and 通气性, 并间接影响土壤肥力和果树生

长发育。土壤容重过大, 孔隙度过小, 不利于土壤蓄积水, 易造成土壤通气不良, 种子发芽困难, 根系不易下扎甚至不能生长等^[1-3]; 土壤容重过小, 孔隙度过

收稿日期: 2009-08-20

修回日期: 2009-11-09

资助项目: 国家“十一五”科技支撑项目“高原沟壑区苹果持续发展的关键技术与示范”(2006BAD09B09); “丘陵沟壑区经济林水土保持功能与土地配置格局研究与示范”(2006BAD09B07); “西部村镇植被构建技术和水土流失防治技术的组装集成与示范”(2006BAJ10B06)

作者简介: 杜社妮(1966—), 女(汉族), 陕西省杨凌区人, 助理研究员, 主要从事设施栽培及果树生态方面的研究。E-mail: sнду@nwsuaf.edu.cn.

大,易漏风、跑墒,土壤温度不易稳定,土壤养分易淋失,且根系不能与土粒密切接触,吸水吸肥困难,易产生吊根、倒伏甚至死亡^[4-5]。对于通气不良,排水不畅的地块,农业生产中通常采用免耕、轮耕、深耕、覆盖及土壤调理剂等来调整土壤的通气状况及蓄水、保温能力^[6-10];对于容重小,孔隙度大,易漏风、跑墒的地块,通常采用碾压的方式提高土壤的紧实度,减少土壤水分散失。果树、林业生产中为了改良土壤,对于质地黏重,通气不良的土壤通常采用穴状整地及施肥来调节土壤的蓄水性与通气性,改善土壤温度变化,提高苗木成活率,促进树体生长^[11-14]。陕北黄土丘陵沟壑区为干旱半干旱地区,苹果栽植面积为 1.0×10^5 hm²,为陕西省新发展的优质苹果生产基地。陕北黄土丘陵沟壑区降水主要集中于7—9月,土壤主要为黄绵土,轻壤。果树栽植大多采用雨季后穴状整地春季定植,但苗木成活率低,树体生长状况差,且定植穴越大越深,冻土层越深,土壤水分越少,苗木成活率越低,抽条越严重^[15]。陕北丘陵沟壑区雨季后穴状整地造成苗木成活率降低,生长状况变差与该区域的黄绵土容重小,孔隙度高,保水性、保温性差等具有密切的关系^[16]。为了解决生产中的问题,提高土壤水分和苗木成活率,2006—2008年以雨季后穴状整地为对照,对雨季前、春季穴状整地的土壤容重、土壤孔隙度、土壤水分、土壤温度和苹果幼树成活率及保存率进行了监测研究。

1 材料与方法

1.1 试验地的自然条件

试验地位于陕北黄土丘陵沟壑区安塞县沿河湾镇县南沟流域寨子湾村,年均气温8.8℃,10月活动积温3 171.2℃,年太阳辐射528.6 kJ/cm²,日照时数2 415.6 h,无霜期159 d。该区年降水量549.1 mm,主要集中在7—9月,10月到翌年4月降水92.3 mm,仅占全年降水的16.81%。试验地海拔1 180 m,为梯田,宽20~25 m,坡向南偏东12°。试验地土壤为黄绵土,轻壤,厚度90~150 m。试验地耕层土壤田间持水量为198.1 g/kg,容重为1.17 g/cm³,总孔隙度为55.4%,毛管孔隙度为35.3%。受降水的影响,3—6月为土壤水分散失阶段,7—9月为累积阶段,10—11月为缓慢散失阶段,12月到翌年2月由于土壤封冻,为相对稳定阶段。

1.2 材料与设计

试验苹果品种为长富2号(*Malus domestica* Borkh cv. Red Fuji 2),砧木为新疆野苹果(*M. sieversii* (Ledeb.) Roem),2007年4月15日定植,

密度4.0 m × 5.0 m。定植时苗高120 cm左右,径粗0.8~0.9 cm,每株有5条以上根系,生长健壮,无病虫害。

试验以雨季后(2006年10月15日)穴状整地为对照,设雨季前(2006年7月15日)和春季(2007年4月15日)穴状整地。试验每个处理为1小区,每个小区穴状整地50个,重复3次。第1层梯田由东向西依次为雨季前、雨季后和春季穴状整地;第2层为春季、雨季前和雨季后穴状整地;第3层为雨季后、春季和雨季前穴状整地。定植穴长、宽、深均为1.0 m,雨季前、雨季后穴状整地完工后及时回填土壤(回填时不踩实,以利降水入渗)。春季穴状整地时边整地边栽植。定植时不同处理每穴施腐熟羊粪5 kg,灌水5 kg,以树干为中心,树盘内覆盖地膜1.0 m²。定植后的修剪、病虫害防治等相同。试验园无灌溉条件,定植后果树生长完全依赖自然降水。

1.3 测试项目及方法

1.3.1 土壤容重、孔隙度及地面塌陷深度 定植前(2007年4月13日)在春季穴状整地区(此时还未穴状整地)选取3个采样点,10 cm土层采样1次,环刀法测定0—100 cm土层土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度,并计算出非毛管孔隙度^[17];相同方法测定雨季前、雨季后穴状整地穴中心0—100 cm土层土壤容重、总孔隙度和毛管孔隙度。2007年夏季(6月15日)、秋季(10月15日)和2008年春季(4月15日)每个处理选取3株苹果树,在树干正南部25 cm处测定0—100 cm土层土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度。2006年10月15日用游标卡尺测定雨季前穴状整地的地面塌陷深度,2007年10月15日测定不同处理的地面塌陷深度。

1.3.2 土壤水分 定植前在春季穴状整地区选取3个点,10 cm土层采样1次,烘干法测定0—100 cm土层土壤含水率(%);相同方法测定雨季前、雨季后穴状整地穴中部0—100 cm土层土壤含水率。2007年夏季、雨季、秋季和2008年春季测定不同处理树干正南部25 cm处0—100 cm土层土壤含水率。根据土壤容重、土层厚度和土壤含水量换算出不同土层土壤的水层厚度^[18]。

1.3.3 土壤温度 定植前在春季穴状整地区选3个点,从7:00时到21:00时用曲管地温计每隔1 h测定1次20 cm和40 cm土层土壤温度;相同方法在雨季前、雨季后穴状整地区测定穴中部20 cm和40 cm土层土壤温度。定植后,夏季、雨季、秋季和2008年春季在距树干25 cm的正南方向测定不同处理20 cm和40 cm土层土壤温度。

1.3.4 幼树成活与生长状况 2007 年 7 月调查不同处理的苗木成活率。2007 年 11 月测定不同处理的枝条数、枝条长度与粗度(春梢和秋梢分别测定)、树干直径等状况。2008 年春季调查不同处理的苗木存活率。

枝条含水量:2007 年 11 月 15 日,12 月 15 日和 2008 年 2 月 15 日,3 月 15 日,4 月 15 日分别从每个处理的 10 株上剪取 10 根 1 年生枝条,分别在每根枝条的春梢和秋梢中部剪取 10~15 cm 的枝段,用烘干法测定不同处理春梢、秋梢枝条含水量。

2008 年 4 月 15 日调查不同处理的抽条级别。0 级:未抽条;1 级:秋梢上部抽干;2 级:秋梢抽干;3 级:春梢抽干;4 级:2 年生枝条抽干;5 级:地上部全部抽干。抽条指数:

$$W_i = \frac{\sum_{i=0}^n (X_i - S_i)}{\sum_{i=0}^n (X_i - S_{\max})} \times 100$$

式中: W_i ——抽条指数; X_i ——不同级别的株数; S_i ——抽条级别; S_{\max} ——最高抽条级别。

2 试验结果与分析

2.1 土壤容重与土壤孔隙度

2.1.1 土壤容重 土壤容重、土壤孔隙度与降水渗透率密切相关。土壤太紧实不利于蓄积雨水,太疏松不利于保墒。一般情况下土壤容重在 1.1~1.2 g/cm³ 较适宜种子发芽和作物根系生长^[19]。春季穴状整地 0—100 cm 土层土壤容重在定植前由表层到深层逐渐增加,平均为 1.21 g/cm³ (表 1),适宜苹果根系的生长。雨季前、雨季后穴状整地的土壤经过扰动,上下层土壤容重相近,定植前 0—100 cm 土层土壤容重平均为 1.05 g/cm³ 和 1.02 g/cm³,极显著 ($P < 0.01$) 低于春季穴状整地。随着时间的推移,降水入渗和土壤沉积,雨季前穴状整地的土壤容重在夏季、2008 年春季显著高于 ($P < 0.05$) 春季穴状整地;在秋季显著高于雨季后和春季穴状整地(表 1)。定植前雨季前穴状整地、雨季后穴状整地的土壤容重较低,土壤水分易散失,苗木根系不能与土壤密切接触,易导致苗木根系吸水困难而死亡。不同处理的土壤容重在夏季、秋季及 2008 年春季均有所上升,但均未达到 1.1 g/cm³,相对未整地的土壤容重较不适宜苗木生长。

2.1.2 土壤总孔隙度 土壤孔隙是土壤水分、空气的通道和贮存场所,土壤孔隙度越大,水分和空气所占土壤中的容量就越大,土壤越易吸纳降水及散失水分。耕层土壤总孔隙度在 50.0%~56.0%,下层土壤在 50.0% 对农业生产有利^[5]。春季穴状整地 0—

100 cm 土层土壤总孔隙度在定植前(未穴状整地)为 54.34%,而雨季前、雨季后穴状整地在 60.0% 以上(表 1),高于作物适宜生长的范围,极显著高于春季穴状整地(未穴状整地)。3 个处理的土壤总孔隙度在夏季、秋季、翌年春季均表现为基本相同,无显著差异。穴状整地后土壤总孔隙度提高,土壤疏松,利于降水入渗和水分蒸散,当降水较少时易出现吊根及倒伏现象。

表 1 不同处理不同时期 0—100 cm 土层土壤容重和孔隙度

土壤物理性质	处理	定植前	夏季	秋季	翌年春季
容重/ (g·cm ⁻³)	雨季前穴状整地	1.05B	1.05a	1.08a	1.09a
	雨季后穴状整地	1.03B	1.03ab	1.05b	1.07ab
	春季穴状整地	1.21A	1.02b	1.04b	1.06b
总孔隙度/ %	雨季前穴状整地	60.37A	60.37	59.24	58.86
	雨季后穴状整地	61.13A	61.13	60.37	59.62
	春季穴状整地	54.34B	61.50	60.75	60.00
毛管 孔隙度/ %	雨季前穴状整地	34.08	34.14	34.35	34.52
	雨季后穴状整地	34.68	34.06	34.26	34.51
	春季穴状整地	34.74	33.72	34.12	34.62
非毛管 孔隙度/ %	雨季前穴状整地	26.29A	26.23b	24.89b	24.32
	雨季后穴状整地	26.45A	27.07ab	26.11ab	25.11
	春季穴状整地	19.60B	27.78a	26.63a	25.38

注:表中数据采用新复极差法检验,a,b 表示同一列数据显著水平达 0.05,A,B 表示显著水平达 0.01。下同。

2.1.3 土壤毛管孔隙度 土壤毛管孔隙是土壤水分贮存和水分运动的场所。土壤毛管孔隙过少不易保水,过多则保水性过强,易产生渍涝。毛管孔隙为 43.0%~45.0% 最适宜土壤保水和作物生长。黄绵土通透性强,保水性较差,不同处理 0—100 cm 土层毛管孔隙度在不同时期均低于作物生长最适宜的范围(表 1)。毛管孔隙主要取决于土壤质地、结构等,穴状整地对土壤毛管孔隙影响较小,不同处理的毛管孔隙在不同时期无显著差异。

2.1.4 土壤非毛管孔隙度 土壤非毛管孔隙是土壤通气透水的通道,经常被土壤空气占据。土壤非毛管孔隙直接影响土壤的通气性和渗水、排水能力及散失能力。通常作物生长最适宜非毛管孔隙度,耕层土壤为 15.0%~20.0%,下层土壤为 10.0% 左右,一般情况下土壤非毛管孔隙度为 10.0%~13.0%^[5,19]。黄绵土通气性和渗水、排水能力强。春季穴状整地 0—100 cm 土层土壤非毛管孔隙度在定植前(未穴状整地)为 19.6%(表 1),非毛管孔隙度偏高,而雨季前、雨季后穴状整地的为 26.0% 以上,极显著高于作物生长最适宜的范围和春季穴状整地。随着降水入渗及土壤沉积,雨季前穴状整地的土壤非毛管孔隙度在

夏季、秋季显著低于春季穴状整地。不同处理的非毛管孔隙度在 2008 年春季无显著差异。穴状整地提高土壤的非毛管孔隙度,不利于土壤保持水分,易造成土壤水分下渗及蒸散。

2.2 土壤水分及塌陷深度

2.2.1 土壤水分 土壤水分不但直接影响作物的生长,而且对土壤微生物活动,土壤养分分解与转化,土壤温度和土壤空气等各种理化性质都有着深刻的影响与制约作用。定植前 0—100 cm 土层土壤水分雨季前穴状整地为 141.50 mm,雨季后穴状整地为 104.7 mm,春季穴状整地为 128.6 mm,三者之间达到极显著差异(图 1)。经过干旱的春季与初夏,夏季不同处理的土壤水分均比定植前降低,雨季前、雨季后、春季穴状整地的土壤水分分别为 94.7, 83.7, 86.2 mm。雨季前穴状整地的土壤水分仍极显著高于雨季后和春季穴状整地,春季穴状整地略高于雨季后穴状整地。

陕北黄土丘陵沟壑区降水集中于 7—9 月,受降水的影响,不同处理的土壤水分在雨季、秋季基本相同,无显著差异。不同处理的土壤水分在 2008 年春季为雨季前穴状整地 > 雨季后穴状整地 > 春季穴状整地,但无显著差异。雨季后与春季穴状整地降低了苹果幼树生长前期的土壤水分,相对提高了生长后期的土壤水分。陕北丘陵沟壑区春季土壤水分低,枝条生长缓慢,夏秋季土壤水分较多,枝条生长旺盛。陕北丘陵沟壑区秋季降温速度快,往往 1~2 次的降温便可由秋季转为冬季,使秋季旺盛生长的枝条遭到早霜的危害,叶片不能自然脱落,造成枝条成熟度差,易导致春季抽条严重^[16]。

2.2.2 塌陷深度 土壤越疏松,遇水越容易塌陷。雨季前穴状整地的地面塌陷深度在 2006 年秋季为 6.2 cm,2007 年秋季为 1.7 cm。雨季后和春季穴状整地的地面塌陷深度在 2007 年秋季为 6.7 mm 和 5.6 cm。2007 年秋季 3 个处理之间的地面塌陷深度均达到极显著差异水平。果园地面塌陷深度越深,越容易产生吊根、断根、裸根等现象,越易导致苗木抽条或死亡。

2.3 土壤温度

土壤温度与土壤水分、质地、土壤空隙度等密切相关。土壤水分越高,土壤空隙度越小,土壤温度变化越平缓。定植前、定植后不同处理 20,40 cm 土层土壤日温差均达到极显著差异,其中雨季后穴状整地土壤日温差最大,雨季前最小。夏季 20,40 cm 土层土壤日温差雨季前穴状整地与雨季后穴状整地、春季

穴状整地达到极显著差异。雨季、秋季和 2008 年春季不同处理土壤温度变化相同,无显著差异(表 2)。

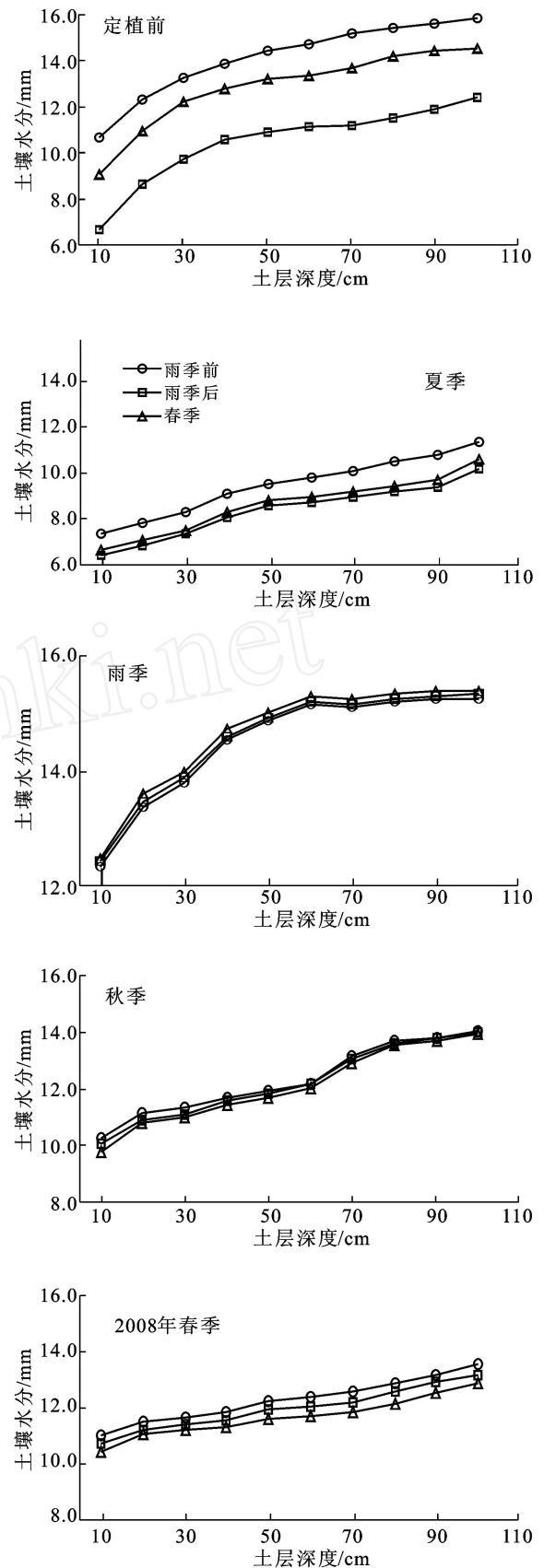


图 1 不同处理不同时期的土壤水分

表 2 不同处理不同时期的土壤日温差

土层/cm	处理	土壤日温差/					
		定植前	定植后	夏季	雨季	秋季	翌年春季
20	雨季前穴状整地	1.1C	2.9C	4.0B	5.6	3.1	2.9
	雨季后穴状整地	3.8A	3.3B	4.4A	5.6	3.1	2.9
	春季穴状整地	3.4B	3.7A	4.6A	5.6	3.1	2.9
40	雨季前穴状整地	0.3C	0.6C	0.7B	0.9	0.4	0.6
	雨季后穴状整地	0.7A	0.8A	0.9A	0.9	0.4	0.6
	春季穴状整地	0.5B	0.7B	0.9A	0.9	0.4	0.6

2.4 苗木生长状况

陕北黄土丘陵沟壑区春季苗木栽植成活率与土壤水分含量密切相关。雨季前穴状整地的土壤水分在定植前及定植后较高,土壤孔隙度较低,土壤温度变化平缓,利于苗木吸水吸肥及生长。雨季前、雨季后及春季穴状整地的苗木成活率分别为 91.3%, 71.6%和 79.4%,相互之间达到极显著差异。雨季前穴状整地的新生枝条多,枝条较长较粗,且春梢比例较大,树干较粗,而雨季后和春季穴状整地的枝条较短较细,且秋梢比例较大,树干较细(表 3)。2007 年秋季到 2008 年春季雨季前穴状整地的春梢、秋梢水分含量均极显著高于雨季后和春季穴状整地,春季穴状整地显著高于雨季后穴状整地(图 2)。雨季前、雨季后、春季穴状整地的抽条指数分别为 21.13, 31.18, 25.46,相互之间达到极显著差异。越冬后翌年春季

幼树存活率分别为 97.5%, 85.2%, 91.2%,相互之间达到显著差异,且雨季前与雨季后达到极显著差异。

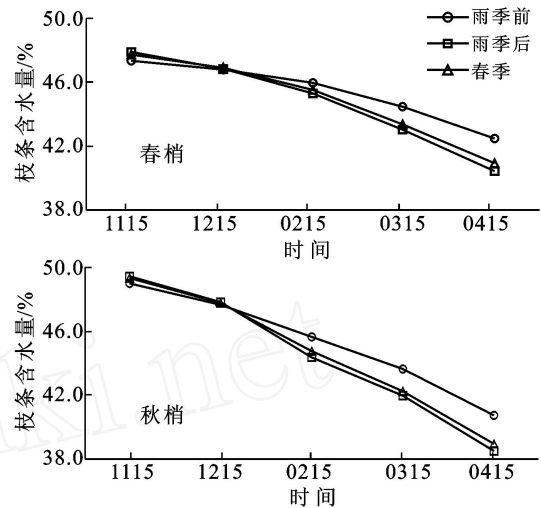


图 2 不同处理不同时期的枝条含水量

表 3 不同处理的树体生长状况

处理	枝条			最长枝条				树干直径/cm
	枝条数	平均长度/cm	平均粗度/cm	长度/cm		粗度/cm		
				春梢	秋梢	春梢	秋梢	
雨季前穴状整地	5.2A	18.8A	0.41A	14.3A	13.1	0.49A	0.37	1.58A
雨季后穴状整地	3.4C	12.4C	0.32B	7.5C	12.6	0.39C	0.35	1.13C
春季穴状整地	4.1B	14.2B	0.33B	9.2B	13.2	0.43B	0.36	1.28B

3 讨论

陕北黄土丘陵沟壑区为干旱半干旱地区,春季苗木栽植成活率与土壤水分、土壤温度密切相关,而土壤的保水性、保温性与土壤容重、土壤孔隙度密切相关。陕北丘陵沟壑区降水集中于 7—9 月,冬春季干旱少雨多风,山坡地无灌溉水源,土壤主要为黄绵土,轻壤,土壤孔隙度高,保水能力弱,如何提高土壤的蓄水、保水性,达到“秋水春用”是提高苗木成活率的关键。提前穴状整地的主要目的是蓄积降水,提高土壤水分,但黄绵土土壤容重较小,通透性强,穴状整地会进一步降低土壤容重,提高土壤总孔隙度和非毛管孔隙度,降低土壤的蓄水、保水能力。雨季前穴状整地

经过雨季,土壤得到沉积,土壤容重得到提高,非毛管空隙减少,土壤的保水性提高,且雨季前穴状整地在雨季蓄积了大量的雨水,经过干旱、多风的冬春季,土壤失水量小,翌年春季定植时及定植后土壤水分含量较高,土壤温度变化平缓,苗木的成活率提高,树体生长状况良好。雨季后穴状整地土壤容重减小,非毛管空隙增加,土壤的保水性能减弱。雨后穴状整地没有蓄积到雨水,经过干旱多风的冬春季,散失了大量的土壤水分,翌年春季定植时及定植后土壤水分含量较低,土壤温度变化剧烈,苗木的成活率降低,树体生长状况较差。春季穴状整地增加了土壤的通透性,但春季降水量小,积蓄不到水分,土壤得不到沉积。而春季气温上升快,风沙大,土壤水分散失量大,苗木定植

后土壤含水量较低,温度变化剧烈,苗木成活率较低,树体生长状况较差。定植后随着春夏旱季的结束,7—9月雨季的来临,由于雨季后及春季穴状整地的土壤容重较小,土壤总孔隙度和非毛管空隙度较大,降水入渗能力强,大量蓄积了降水,造成苗木徒长,导致枝条不易成熟,越冬及翌年春季枝条失水量大,抽条严重,苗木存活率降低;雨季前穴状整地由于春季土壤含水量较高,春梢生长量较大,雨季时土壤积蓄的降水相对较少,苗木能正常生长,徒长现象较少,枝条较成熟,越冬及翌年春季枝条失水量小,抽条较轻,苗木存活率较高。定植后由于降水较少,雨季后和春季穴状整地的土壤疏松,随着雨季的来临及雨水的沉积作用,地面塌陷较深,易产生吊根、断根、裸根及苗木倒伏现象,易导致苗木失水、抽条及死亡,造成苗木越冬困难,降低苗木的存活率。

陕北黄土丘陵沟壑区山坡地无灌溉水源,栽植果树应在雨季前穴状整地,才能够蓄积大量降水,达到“秋水春用”,才能提高苗木栽植成活率,促进树体生长。雨季后穴状整地,不但不能蓄积到降水,而且会促进土壤水分大量散失,降低苗木成活率,削弱树体生长。

[参 考 文 献]

- [1] Mari G R, Ji Changying, Zhou Jun. Effects of soil compaction on soil physical properties and nitrogen, phosphorus, potassium uptake in wheat plants[J]. Transactions of the CSAE. 2008, 24(1):74-79.
- [2] Reisinger T W, Simmons G L, Pope P E. The impact of timber harvesting on soil properties, and seeding growth in the south[J]. Southern Journal of Applied Forestry. 1988, 12:58-67.
- [3] 杨金玲,张甘霖,赵玉国,等. 土壤压实指标在城市土壤评价中的应用与比较[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 51-55.
- [4] 王殿武,文宏达. 半干旱高寒区保护性耕作法对土壤孔隙状况和微形态结构特征的影响[J]. 河北农业大学学报, 1994, 17(S):1-6.
- [5] 山西农学院土壤农化专业. 土壤学[M]. 北京:人民教育出版社, 1975:104-113.
- [6] 秦红灵,高旺盛,李春阳. 北方农牧交错带免耕对农田耕层土壤温度的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1):40-47.
- [7] 陈素英,张喜英,裴冬,等. 玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 171-173.
- [8] 丁昆仑, Hann M J. 耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3):28-31.
- [9] 孙国峰,陈阜,肖小平,等. 轮作对土壤物理性及水稻产量影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12):109-113.
- [10] 付占国,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1):52-56.
- [11] 宋晓艳,赵雨森,迟桂荣. 爆破整地对栗钙土理化性质的影响[J]. 德州学院学报, 2005, 21(4):19-22,35.
- [12] 张祖强. 丰产沟栽植对短枝型苹果幼树生育的效应[J]. 中国果树, 1994(4):26-27.
- [13] 白岗栓. 陕北丘陵沟壑区不同整地方式对果树生长环境的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(7):11-14.
- [14] 田佳秋,兰伟,李树森,等. 整地深度对土壤物理性质的影响[J]. 防护林科技, 2005(3):28-29.
- [15] 高彦,王森,薛东学. 苹果定植坑大小的效果调查[J]. 山西果树, 2007(5):29-30.
- [16] 白岗栓,杜社妮,耿桂俊,等. 定植穴对局部土壤物理性质及苹果生长的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊1):26-33.
- [17] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2版. 北京:农业出版社, 1992:33-91.
- [18] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等. 沃特和 PAM 保水剂对土壤水分及马铃薯生长的影响研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8):72-79.
- [19] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:96.