

# 陕西咸阳苹果林地和农田土壤含水量及土壤干层研究

王玲, 赵景波, 李瑜琴, 郑明山, 龚成双, 孔雯雯 (陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西西安 710062)

**摘要** 测量了咸阳庞西村附近苹果林地和玉米地地表以下0~6 m 土层的土壤含水量。结果表明, 苹果林地土壤含水量从表层向下呈现出高—低—高的变化趋势; 10、15 龄苹果林地和玉米地冬、春季 2、4 m 土层土壤含水量分别为 14.9% 和 15.49%、9.96% 和 10.31%、22.47% 和 20.68%; 15 龄苹果林地发育了明显的土壤干层。

**关键词** 咸阳庞西村; 土壤含水量; 苹果林地; 土壤干层

**中图分类号** S718.51+6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)29-14298-03

## Study on Soil Moisture and Soil Dry Layer in Apple Land and Farmland in Xianyang of Shaanxi Province

WANG Ling et al (College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062)

**Abstract** Soil moisture in 0-6 m soil layer in apple and corn land near Pangxi village of Xianyang was determined. The results showed that the soil moisture in apple land from surface layer to low layer showed a change trend of high-low-high. The soil moisture in 2, 4 m soil layer in apple land with 10, 15 years old apple tree and corn land in winter and spring were 14.9% and 15.49%, 9.96% and 10.31%, 22.47% and 20.68% resp. The soil in apple land with 15 years old apple tree developed obvious soil dry layer.

**Key words** Pangxi village of Xianyang; Soil moisture; Apple land; Soil dry layer

黄土高原地处半湿润、半干旱和干旱地区, 水分不足是影响该区植被生长的限制因子。很多学者, 对该区防止水土流失、改善水循环等问题进行了广泛研究。研究结果显示, 黄土高原人工林生长 10 年后常出现生长缓慢、树干弯曲、干梢等生长不良甚至树木死亡现象。人工林生长不良的主要原因是地下 2~4 m 土层出现干化<sup>[1-6]</sup>。干层是半干旱和半湿润环境下, 水量不足, 加上植物的蒸腾(散)和土壤蒸发双重作用, 土壤水分出现负补偿, 从而在土体一定深度形成稳定的低湿层。由于地表土壤水分变化无常, 因此, 地表以下 2 m 层位暂时性的土壤缺水带并不是土壤干层, 而地表之下 2~4 m 或更深处的干层为真正的土壤干层<sup>[7-11]</sup>。笔者基于对咸阳庞西村苹果林地、玉米地土壤含水量的测定, 揭示了土壤干层的形成及演变, 探讨了该地区土壤干层水分恢复和干层的防治等问题。

### 1 采样地点和方法

研究地点位于咸阳双照镇庞西村, 该区属暖温带大陆型季风气候, 冬冷夏热, 雨热同季。年均降水量 500~600 mm, 50% 降水集中在 7~9 月, 常常秋雨连绵, 久阴不晴。年平均气温 12℃, 无霜期 213 d。

人工林样地为苹果林地, 农田为玉米地。苹果林树龄分为 2 种: 10 和 15 龄。10 龄苹果树直径约为 10~12 cm, 株距为 3.5 m 左右, 行距为 2.5 m 左右, 冠径为 3.5~4.5 m; 15 龄苹果树干直径约为 12 cm 左右, 冠径、行距、株距与 10 龄苹果林接近。为了获得可靠的资料, 于不同季节在 10、15 龄苹果林地分别进行了 2 个孔剖面的土壤含水量测定; 同时, 对玉米地也进行了 2 个孔剖面的土壤含水量测定。

土壤含水量采用烘干称重法测定(样品 105℃ 烘干至恒重), 其计算公式为:

$$W = \frac{G_1 - G_3}{G_2 - G_3} \times 100\% \quad (1)$$

式中, W 为样品土壤含水量(%); G<sub>1</sub> 为所采土样和铝盒重

量(g); G<sub>2</sub> 为 105℃ 烘干后土样和铝盒重量(g); G<sub>3</sub> 为铝盒重量(g)。

### 2 苹果林地土壤含水量测定结果

#### 2.1 冬季苹果林地土层含水量

**2.1.1 冬季 15 龄苹果林地土层含水量。**2008 年冬季 12 月 2 日, 对咸阳庞西村 15 龄苹果林样地进行了打钻取样, 钻孔深度 6 m, 取样间距 10 cm。第 1 个剖面(图 1 a1)土壤含水量为 8.96%~17.02%, 平均含水量为 11.57%。据土层含水量在垂直方向上的变化, 可以将其分为 3 层。由上向下第 1 层为 0~200 cm, 含水量较高, 在 10.08%~17.02%, 平均含水量为 13.70%; 第 2 层在 210~400 cm, 含水量较低, 变化范围为 8.96%~10.81%, 平均含水量为 9.96%, 该层对植物供水能力较强, 平均含水量较低, 容易产生土壤干层; 第 3 层位于 410~600 cm, 含水量有所升高, 在 10.45%~11.73%, 平均含水量为 11.05%。该层为相对稳定层, 受降水补给缓慢, 植物对该层水分利用较少, 因此, 含水量变化较小。在距离第 1 个孔 1 m 处另打 1 个孔(图 1 b1), 该剖面含水量高低、变化规律与第 1 个剖面基本相同。

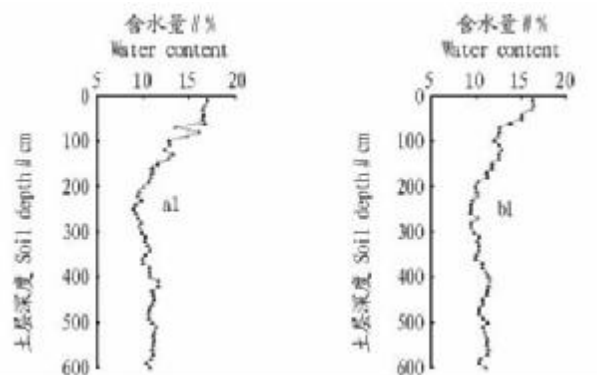


图 1 咸阳庞西村冬季 15 龄苹果林地土壤含水量变化曲线  
Fig. 1 Change curves of soil water content in 15-year apple trees land in Pangxi Village of Xianyang in winter

**2.1.2 冬季 10 龄苹果林地土层含水量。**在相同地点的 10 龄苹果林地用同样的方法采集 6 m 深剖面的样品, 采样间距为 10 cm。测定结果(图 2)显示, 第 1 个剖面(图 2 a2)含水量在 12.91%~19.45%, 平均含水量为 15.64%。据土层含水量

**基金项目** 陕西师范大学大学生开放型实验室基金(8074)。

**作者简介** 王玲(1987-), 女, 陕西汉中, 本科生, 专业: 地理科学。

**收稿日期** 2009-06-11

在垂直方向上的变化,可将其分为3层。由上向下第1层为0~200 cm,含水量较高,在13.18%~19.45%变化,平均含水量为16.26%;第2层为210~400 cm,含水量较低,在12.91%~18.09%变化,平均值为15.49%;第3层位于410~600 cm,含水量在13.62%~17.22%变化,平均含水量为15.16%。在距离第1个孔1 m处另打1个孔,该剖面土壤含水量高低、变化规律(图2 b2)与第1个剖面基本相同。

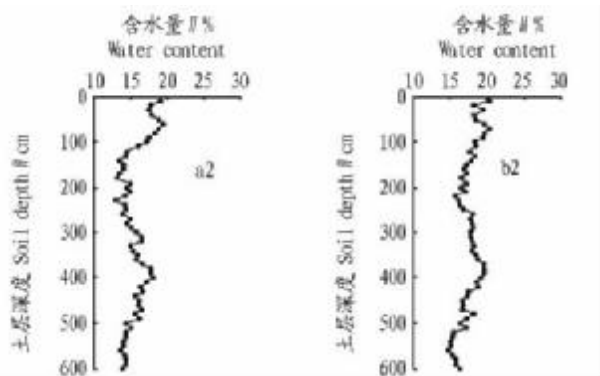


图2 咸阳庞西村冬季10龄苹果林地土壤含水量变化曲线

Fig. 2 Change curves of soil water content in 10-year apple trees land in Pangxi Village of Xianyang in winter

2.2 春季苹果林地土层含水量

2.2.1 春季15龄苹果林地土层含水量。2009年春季4月4日,在咸阳庞西村15龄苹果林地进行了6 m深的钻孔取样,取样间距为10 cm。第1个剖面(图3 a3)含水量在9.18%~16.80%变化,平均含水量为11.42%。据土层含水量在垂直方向上的变化,可以将其分为3层。由上向下第1层为0~200 cm,含水量较高,在11.15%~16.80%变化,平均含水量为13.66%;第2层在210~400 cm,含水量较低,在9.26%~12.12%变化,平均含水量为10.31%,该层对植物的供水能力较强,一般容易产生土壤干层;第3层位于410~600 cm,含水量在9.18%~11.16%变化,平均含水量为10.29%,该层为相对稳定层,受降水补给缓慢,植物对该层水分利用较少,含水量变化较小。为了提高测量结果的精确度,在距离第1个孔1 m处另打1个孔,第2个剖面的含水量高低、变化规律(图3 b3)与第1个剖面基本相同。

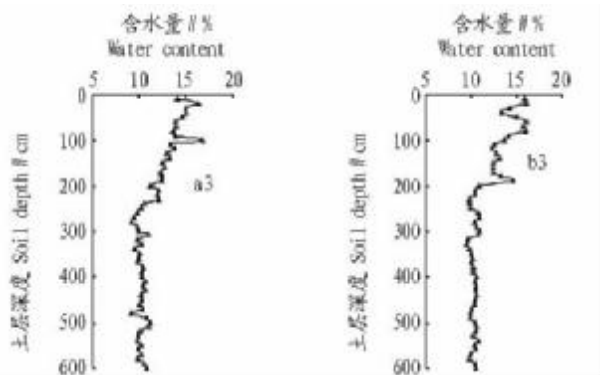


图3 咸阳庞西村春季15龄苹果林地土壤含水量变化曲线

Fig. 3 Change curves of soil water content in 15-year apple trees land in Pangxi Village of Xianyang in spring

2.2.2 春季10龄苹果林地土层含水量。同日,在咸阳庞西村10龄苹果林地也进行了6 m深的钻孔取样,取样间距为10 cm。第1个剖面(图4 a4)土壤含水量在12.42%~18.73%,

平均含水量为14.55%。据土层含水量在垂直方向上的,可以将其分为3层。由上向下第1层为0~200 cm,含水量较高,在12.42%~18.73%,平均含水量为14.48%;第2层在210~400 cm,含水量较低,在13.66%~15.75%变化,平均含水量为14.90%;第3层位于410~600 cm,含水量在13.42%~14.90%,平均含水量为14.28%。同样,在距离第1个孔1 m处另打1个孔,该剖面土壤含水量高低、变化规律(图4 b4)与第1个剖面基本相同。

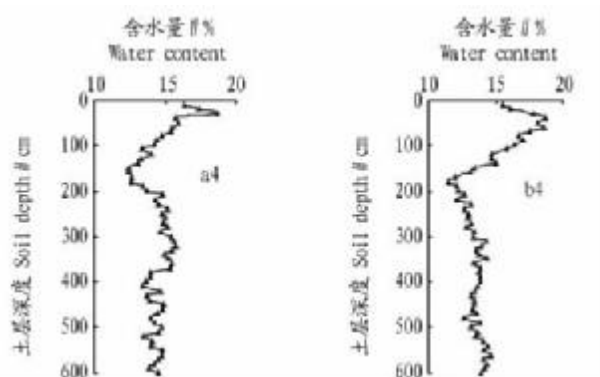
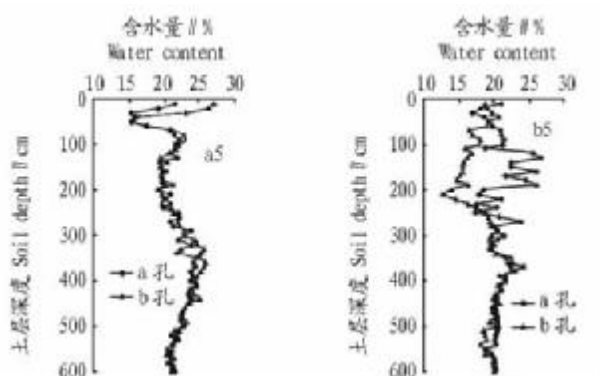


图4 咸阳庞西村春季10龄苹果林地土壤含水量变化曲线

Fig. 4 Change curves of soil water content in 10-year apple trees land in Pangxi Village of Xianyang in spring

2.3 咸阳庞西村农田土壤含水量

2.3.1 秋季玉米地土壤含水量。2008年秋季9月30日,在咸阳郊区玉米地采用同样的方法进行了6 m深的钻孔取样,2个取样孔的间距为10 cm。a孔样品土壤含水量为21.45%。上部0~200 cm土层含水量为15.33%~22.16%,平均含水量为19.69%;中部210~400 cm土层土壤含水量在19.91%~24.69%,平均含水量为22.47%;下部410~600 cm土层含水量在20.51%~24.62%,平均含水量为22.18%。b孔样品分析结果(图5 a5)与a孔基本类似。



注:a5为秋季玉米地土壤含水量变化曲线;b5为冬季玉米地土壤含水量变化曲线。

Note:a5 is the curve of water content in soil layers of corn field in Xianyang in autumn;b5 is the curve of water content in soil layers of corn field in Xianyang in winter.

图5 咸阳庞西村秋、冬季玉米地土壤含水量变化曲线

Fig. 5 Change curves of soil water content in corn field in Pangxi Village of Xianyang in autumn and winter

2.3.2 冬季玉米地土壤含水量。2008年冬季11月18日,再次对咸阳玉米地进行了打钻取样和含水量测定。结果表明,a孔样品土壤含水量较高,平均为20.83%,上部0~200

cm 土层土壤含水量在 16.90% ~ 26.61%, 平均含水量为 21.57%; 中部 210 ~ 400 cm 土层土壤含水量介于 17.36% ~ 23.88%, 平均含水量为 20.68%; 下部 410 ~ 600 cm 土层土壤含水量在 18.85% ~ 21.17%, 平均含水量为 20.23%。b 孔样品分析结果(图 5 b5)与 a 孔基本类似, 但 b 孔 100 ~ 200 cm 土层含水量明显高于 a 孔, 主要是由于 b 孔取样点的地形较低洼, 降水入渗较多所致。

### 3 讨论

**3.1 苹果林地含水量与土壤干层** 通过测定不同季节咸阳庞西村 10、15 龄苹果林地土壤含水量, 发现 10 龄苹果林不同季节土壤含水量具有很大差异。春、秋季苹果林地土壤含水量明显低于冬季。咸阳地区中龄苹果树通常在 4 月上中旬发芽, 5 月中旬新梢进入迅速生长期, 消耗水分较多; 6 月中、下旬 ~ 7 月上、中旬, 新梢进入缓慢生长期, 大部分新梢逐渐停止生长而形成顶芽; 7 月中旬 ~ 8 月中下旬进入雨季, 充沛的降雨促使一部分强壮的新梢开始二次生长, 抽生秋梢, 出现新梢生长的第 2 次高峰。这一时期也是果实迅速生长期, 耗水量增加; 9 月中下旬 ~ 10 月上中旬气温逐渐降低, 新梢逐渐停止生长, 果实进入成熟阶段; 冬季属于苹果树的休眠期, 消耗水分较少。

根据含水量变化曲线可知, 10、15 龄苹果林地 200 ~ 400 cm 土层含水量较低, 主要是由于苹果树主根入土深度达 1.5 ~ 2.0 m。相同季节 10、15 龄苹果林地的含水量有很大区别, 15 龄苹果林地 210 ~ 400 cm 土层含水量明显低于 10 龄苹果林地土层含水量, 而且冬、春季 15 龄苹果林地发育了明显的干层, 10 龄苹果林地没有发育干层, 说明人工植被的年龄对土壤干层的形成具有很大影响。

总的来说, 随着苹果树的生长发育, 树冠逐渐变大, 树叶由疏变密, 蒸腾面积增加, 耗水量加大, 而且密集树叶对降水具有一定的截流作用。因此, 幼龄树消耗水分较少, 中龄树消耗水分有所增加, 老龄树消耗水分又有所减少。对同龄树而言, 植株密集耗水多, 植株稀疏耗水少。不同植被类型对土壤水分的吸收利用情况不同, 苹果林属于乔木树种, 也属于速生树种, 生长期消耗水分较多; 玉米属于禾本科植物, 生长周期较短, 耗水较少, 一般对土壤含水量的影响不大<sup>[2,6,9]</sup>。

虽然植物生长发育造成土壤含水量降低, 但植被对土壤水分也存在有利的一面, 即植被可增加大气降水的入渗, 减少水土流失和地面土壤水分蒸发。植被盖度越大, 水土流失越少, 土壤水分蒸发越少。因此, 植被发育可促进土壤水分的有效利用。此外, 植被还具有改善气候、增加降水等作用。蒸发作用主要影响上部 1 m 土层, 而乔木吸收水分则影响到 10 m 土层。因此, 在干旱半干旱地区, 人工林常导致土壤水分的过度消耗和土壤干化。

**3.2 苹果林地与农田土壤含水量差异** 通常认为, 土层含水量低于 12% 可视为土壤干层, 在地表以下 2 ~ 4 m 土层, 土壤水分很少受蒸发作用的影响, 水分补充缓慢, 是真正的土壤干层分布层位。由以上分析可知, 15 龄苹果林地 210 ~ 400 cm 土层, 平均含水量为 9.96% 和 10.31%, 小于 12%, 发育了明显的干层; 而 10 龄苹果林地 210 ~ 400 cm 土层含水量

大于 12%, 没有发育干层。造成两者 210 ~ 400 cm 土层含水量差异的原因是 15 龄苹果树叶冠大于 10 龄苹果树, 其蒸腾作用耗水较多。一般情况下, 苹果树 7 ~ 15 龄为盛果期, 果树正常生长至少需要 18% 以上的土壤含水量。

秋、冬季节对庞西村玉米地 0 ~ 600 cm 土层含水量的测定结果表明, 210 ~ 400 cm 土层含水量达 20% 左右, 远大于土壤干层定义的 12% 的含水量标准, 没有干层发育。咸阳地区玉米整个生育期为 108 d。玉米 51.5% 的根系分布在地表以下 0 ~ 40 cm 土层中, 76.2% 分布在 0 ~ 80 cm 土层中, 90.5% 分布在 0 ~ 120 cm 土层中<sup>[12]</sup>。因此, 玉米生长发育主要吸收利用 1 m 以上土层的水分。

**3.3 土壤干层形成原因** 土壤干层的形成一般由自然和人为因素引起。在降水较少的地区, 土壤水分不能满足树木生长的需要, 自然产生干层。在半湿润区, 人工造林或造林措施不当也会引起土壤干层。在此类地区, 中龄苹果林密度大且果树生长快, 过多地消耗了土层中的水分, 导致土壤干层出现。

### 4 土壤干层防治措施

自然原因引起的气候变干和降水量较少是人们无法控制的, 但人工造林或造林不当引起的土壤干层是可以避免的。严重的土壤干层会带来一系列生态环境问题。而栽种适当的人工林植被, 减少植被对土壤水分的吸收可防止土壤干层发生, 具体操作为: 对已经存在的干层, 通过建造鱼鳞坑, 修梯田增强降水入渗, 减缓干层发育的程度; 对将要营造的人工林, 减小造林密度, 选择耗水量小的造林树种, 尽量发展本土树种, 采取乔、灌、草相结合的措施。

### 5 结论

(1) 该研究表明结果, 咸阳玉米地土壤含水量明显高于苹果林地, 说明不同植被对土壤水分的吸收利用情况不同, 一般生长周期长或多年生植物对土壤水分的吸收利用较强烈, 容易发生土壤干层。

(2) 研究发现, 咸阳地区苹果林地 210 ~ 400 cm 土层含水量较低。15 龄苹果林地 210 ~ 400 cm 土层含水量低于 12%, 发育了明显的土壤干层; 而 10 龄苹果林地 210 ~ 400 cm 土层含水量大于 12%, 没有发育土壤干层, 造成两者水分差异的主要原因是苹果树冠的大小不同。

(3) 通过分析, 人工植被的年龄对土壤干层的形成具有很大影响, 一般情况下, 树龄越大, 其对土壤水分的吸收及树冠对降水的截流作用越强, 土壤干层发育越明显。

### 参考文献

- [1] 赵景波, 孙桂贞, 岳应利, 等. 关中平原人工林地的干层及其成因[J]. 地理研究, 2007, 26(4): 763 - 772.
- [2] 李瑜琴, 赵景波. 西安附近丰水年秋季苹果林地土壤水分恢复研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 75 - 77.
- [3] 赵景波, 王长燕, 岳应利, 等. 西安地区人工林土壤干层与水分恢复研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 890 - 895.
- [4] 赵景波, 牛俊杰, 杜鹃, 等. 咸阳市三原县新庄不同植被土层含水量研究[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 247 - 252.
- [5] 赵景波, 杜鹃, 周旗, 等. 陕西咸阳人工林地土壤干层研究[J]. 地理科学, 2005, 25(3): 322 - 328.
- [6] 李瑜琴, 赵景波. 长安地区人工林地土层含水量研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2005, 33(1): 105 - 109.

随加入酶原溶液加入量的增加,固定化酶的活性开始增加,并在酶原溶液加入量为 60  $\mu\text{l}$  时酶的活力达到一个峰值,但是当酶原溶液加入量大于 60  $\mu\text{l}$ ,其活力却有所下降。即对于木瓜蛋白酶来说,酶原溶液加入量的最佳数值为 60  $\mu\text{l}$ 。

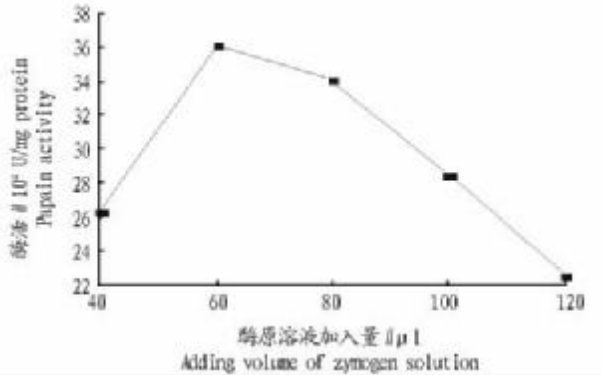


图5 酶原溶液加入量对酶活的影响

Fig. 5 Effect of the adding volume of zymogen solution on papain activity

2.3.4 酶原溶液所含水量对酶活的影响。从图6可见,当酶原溶液含水量在 60  $\mu\text{l}$  左右时固定化酶表现出较高的催化活性,而当水量再增加时或者水量下降时酶活则开始趋于下降,达到 150  $\mu\text{l}$  时固定化酶活性与添加 60  $\mu\text{l}$  的固定化酶活性相差很大。由于试验中水既为木瓜蛋白酶提供“必需水”以表现活性,又要为溶解木瓜蛋白酶粉和添加剂糖分子提供溶液环境,而同时含水量过高又会使酶活损失增大,因此在固定化过程中选择以 60  $\mu\text{l}$  水溶解 1 mg 木瓜蛋白酶形成酶原溶液。

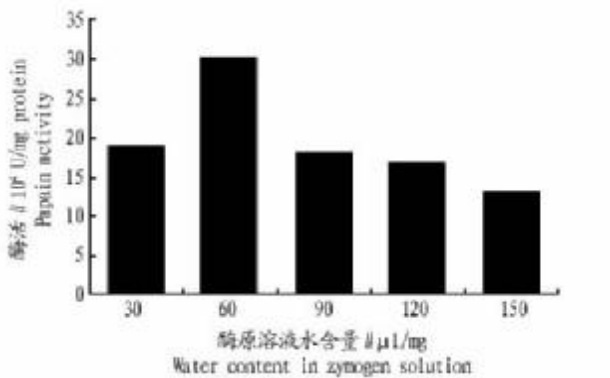


图6 酶原溶液含水量对酶活的影响

Fig. 6 Effect of water content in zymogen solution on papain activity

2.3.5 固定化条件的正交优化。在单因素试验中对正癸烷溶液中卵磷脂与胆固醇含量比、酶原水含量、酶液含量、胆固

醇含量、酶液中木糖含量、pH 值进行了筛选,确定出最优量。由于 pH 值因素影响中确定的为 pH 值为 7.0,即中性的溶液环境,且其他因素对酶活的影响波动较大,所以在正交试验中分别对正癸烷溶液中卵磷脂与胆固醇含量比、酶液水含量、酶液含量、胆固醇含量、酶液中木糖含量等因素进行讨论,采取 5 因素 4 水平正交试验确定固定化条件的最优组合。

由正交结果可知,固定化酶制备过程中正癸烷溶液中卵胆比、酶液水含量、酶液含量、胆固醇含量、酶液中木糖含量的极差分别是 39.318、13.280、15.350、9.810 和 2.210,由此可知对固定化影响最大的因素是卵胆比,其次是酶液含量。综合分析后选择出固定化酶制备的最佳条件为:酶原溶液含水量为 90  $\mu\text{l}$   $\text{H}_2\text{O}/\text{mg}$  木瓜蛋白酶,保护剂木糖加入量为 15 mg 木糖/mg 木瓜蛋白酶,正癸烷溶液中胆固醇含量为 1.5% (质量分数),卵磷脂与胆固醇比值为 4.5:1.0 (w/w);固定化过程中,酶原溶液加入量为 80  $\mu\text{l}$ ,正癸烷溶液加入量为 500  $\mu\text{l}$ ,载体前驱体溶液(含有 PEG400)为 600  $\mu\text{l}$ 。

### 3 小结

通过对固定化过程中各因素的单因素优化及正交优化试验,选择出 Sol-gel 法固定木瓜蛋白酶的最佳条件为:酶原溶液含水量为 90  $\mu\text{l}$   $\text{H}_2\text{O}/\text{mg}$  木瓜蛋白酶,保护剂木糖加入量为 15 mg 木糖/mg 木瓜蛋白酶,正癸烷溶液中胆固醇含量为 1.5% (质量分数),卵磷脂与胆固醇比值为 4.5:1.0 (w/w);固定化过程中,酶原溶液加入量为 80  $\mu\text{l}$ ,正癸烷溶液加入量为 500  $\mu\text{l}$ ,载体前驱体溶液(含有 PEG400)为 600  $\mu\text{l}$ 。

### 参考文献

- [1] 乙引,谭爱娟,刘宁,等.木瓜蛋白酶的生产工艺研究[J].贵州农业科学,2000,28(5):24-25.
- [2] 吴显荣.木瓜蛋白酶的开发与应用[J].中国农业大学学报,2005,10(6):11-15.
- [3] WEETALL H, MASON R. Studies on immobilized papain[J]. Biotechnol, 1973, 15(3):455-458.
- [4] BRENNAN J D, BENJAMIN D, DIBATTISTA E. Using sugar and amino acid additives to stabilize enzymes within sol-gel derived silica[J]. Chem Mater, 2003, 15:737-745.
- [5] DENG H T, XU Z K, WU J, et al. A comparative study on lipase immobilized polypropylene microfiltration membranes modified by sugar-containing polymer and polypeptide[J]. Journal of Molecular Catalysis B:Enzymatic, 2004, 28:95-100.
- [6] BANGHAM A D, STANDISH M M, WATKINS J C, et al. Diffusion of univalent ions across the lamella of swollen phospholipids[J]. J Mol Biol, 1965, 13:238-252.
- [7] KIRBY C J, CLARKE J, GERGORIADIS G. The effect of the cholesterol content of small unilamellar liposomes on their stability in vivo and in vitro[J]. Biochem, 1980, 186:591-598.
- [8] 张林刚,胡继存,陆祖宏.可控组装方法制备脂质体[J].化学学报,1998(4):335-339.

(上接第 14300 页)

- [7] 杜娟,赵景波.西安地区不同植被下土壤含水量及水分恢复研究[J].水土保持学报,2006,20(6):58-61.
- [8] 陈宝群,赵景波,李艳花.特大丰水年洛川人工林地土壤水分特征研究[J].干旱区地理,2006,29(4):532-537.
- [9] 李瑜琴,赵景波.西安地区丰水年农田深层土壤含水量研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):78-81.

- [10] 赵景波,孙桂贞,顾静,等.陕西靖边县不同土层含水量与干层差异研究[J].水土保持通报,2007,27(5):1-5.
- [11] 牛俊杰,赵景波,王尚义.太原地区果树林地的土壤干层[J].太原师范学院学报:自然科学版,2008,7(2):144-147.
- [12] 刘晶淼,安顺清,廖荣伟,等.玉米根系在土壤剖面中的分布研究[J].中国生态农业学报,2009,17(3):517-521.