植物营养与肥料学报 2017, 23(5): 1191–1198
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer
doi: 10.11674/zwyf.17010
http://www.plantnutrifert.org

# 陕西省苹果主产区土壤有机质、氮磷钾养分含量与分布特征

郑朝霞[1,2]，王 颖[1,2]，石 磊[3]，巩庆利[1,2]，郑 伟[1,2]，赵志远[1,2]，翟丙年[1,2*]
（1 西北农林科技大学资源环境学院，杨凌 712100；2 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室，杨凌 712100；3 陕西省农业厅土肥站，西安 710000）

**摘要:【目的】**研究陕西省苹果主产区土壤养分状况，为陕西省苹果主产区施肥策略的合理制定及土壤养分管理提供科学依据。**【方法】**自 2012～2016 年，在陕西省延安、铜川、渭南、咸阳和宝鸡 5 个苹果主要生产地区选取典型果园，样点数依次为 17208、2634、8589、14723 和 303 个，采集 0—40 cm 土层土壤样品，测定土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量，并利用现有果园土壤养分分级标准，比较分析各地区土壤养分分布状况。**【结果】**目前，陕西省苹果主产区土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量平均值分别为 11.5 g/kg、57.1 mg/kg、13.0 mg/kg 和 160.4 mg/kg，较低和低等水平所占比例分别为 33.3%、61.8%、85.0% 和 50.4%。不同地区土壤养分存在一定差异，从全区来看，基本呈西、南高，东、北低的分布特征，即宝鸡是果园土壤养分含量最高的地区，咸阳、渭南和铜川次之，延安果园土壤养分含量最低。延安地区果园土壤平均有机质含量 9.5 g/kg、碱解氮 49.4 mg/kg、有效磷 9.0 mg/kg 和速效钾 140.0 mg/kg，处于较低和低等养分水平的果园百分比分别为 61.6%、77.7%、99.3% 和 67.5%。铜川地区果园土壤有机质平均含量为 14.2 g/kg，有机质达中等及以上水平果园占 88.9%；碱解氮含量均值为 62.0 mg/kg，46.4% 的果园处于较低和低等水平；有效磷含量均值为 13.9 mg/kg，75.3% 的果园处于较低和低等水平；速效钾含量均值为 181.6 mg/kg，处于中等及以上水平的果园所占比例为 67.2%。渭南地区果园土壤有机质含量均值为 13.1 g/kg，有机质达中等及以上水平果园占 83.2%；碱解氮含量均值为 61.6 mg/kg，54.6% 的果园处于较低和低等水平；有效磷含量均值为 13.7 mg/kg，81.0% 的果园处于较低和低等水平；速效钾含量均值为 170.1 mg/kg，42.6% 的果园处于较低和低等水平。咸阳地区果园土壤有机质含量均值为 12.3 g/kg，有机质达中等及以上水平的果园占 85.7%；碱解氮含量均值为 62.7 mg/kg，49.4% 的果园处于较低和低等水平；有效磷含量均值为 16.7 mg/kg，74.2% 的果园处于较低和低等水平；速效钾含量均值为 173.2 mg/kg，处于中等及以上水平果园所占比例为 60.9%。宝鸡地区果园土壤有机质含量均值为 17.5 g/kg，有机质达中等及以上水平果园占 97.4%；碱解氮含量均值为 78.3 mg/kg，21.7% 的果园在较低和低等水平；有效磷含量均值为 23.4 mg/kg，64.9% 的果园在中等及以上水平；速效钾含量均值为 179.2 mg/kg，处于中等及以上水平果园所占比例为 70.0%。**【结论】**陕西省苹果主产区土壤养分含量总体较低，不同地区苹果园土壤有机质和氮磷钾有效养分含量差异较大，需因地制宜确定合理的施肥方案。

**关键词:** 陕西省；苹果主产区；有机质；氮；磷；钾

# Contents and distribution of soil organic matter and nitrogen, phosphate, potassium in the main apple production regions of Shaanxi Province

ZHENG Zhao-xia[1,2], WANG Ying[1,2], SHI Lei[3], GONG Qing-li[1,2], ZHENG Wei[1,2], ZHAO Zhi-yuan[1,2], ZHAI Bing-nian[1,2*]
( *1 College of Natural Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Key Laboratory of Plant Nutrition and Agricultural Environment of Northwest of Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Soil and Fertilizer Station of Agriculture Department of Shaanxi Province, Xi'an 710000, China* )

**收稿日期：**2017–01–09　　**接受日期：**2017–05–21
**基金项目：**公益性行业（农业）科研专项资助项目（201303104，201103005-9）；陕西省农业科技创新转化项目（NYKJ-2015-17）；陕西省科技统筹创新工程计划项目重大科技难题苹果专项（2011KTZB02-02-05）；杨凌示范区农业科技示范推广能力提升项目（2015-TS-18）；西北农林科技大学试验示范基地科技成果推广项目（TGZX2014-16）资助。
**作者简介：**郑朝霞（1992—），四川达州人，硕士研究生，主要从事植物营养与调控方面的研究。E-mail：zhengzhaoxia420@126.com
* 通信作者 E-mail：zhaibingnian@nwsuaf.edu.cn

**Abstract:**【**Objectives**】Soil nutrients status in the main apple production regions of Shaanxi Province was studied to provide a scientific support for formulating a suitable fertilization strategy and soil nutrients management.【**Methods**】From 2012 to 2016, soil samples in 0–40 cm depth were collected from apple orchards in the main production regions located in Yan'an, Tongchuan, Weinan, Xianyang and Baoji cities of Shannxi Province, China, and the numbers of sampling sites were 17208, 2634, 8589, 14723 and 303, respectively. Soil organic matter, available N, available P and K were determined and were further analyzed by classification standards of the soil nutrients status in apple orchards.【**Results**】The mean contents of soil organic matter, available N, P and K were 11.5 g/kg, 57.1 mg/kg, 13.0 mg/kg and 160.4 mg/kg, respectively, which occupied 33.3%, 61.8%, 85.0% and 50.4% of the orchards in the low and lower levels. The soil nutrient contents were different in different regions, basically higher in the west and south and lower in the east and north, and with the highest in Baoji City and lowest in Yan'an City. In Yan'an, the average soil organic matter, available N, available P and K contents were 9.5 g/kg, 49.4 mg/kg, 9.0 mg/kg and 140.0 mg/kg, respectively, their proportion in the low and lower levels accounted for 61.6%, 77.7%, 99.3%, 67.5%, respectively. In Tongchuan City, the average soil organic matter, available N, P and K contents were 14.2 g/kg, 62.0 mg/kg, 13.9 mg/kg and 181.6 mg/kg, and the percentages of the orchards in the medium level and above was 88.9%, 53.6%, 24.7% and 67.2%, respectively. Soil organic matter, available N, available P and K in Weinan orchards were 13.1 g/kg, 61.6 mg/kg, 13.7 mg/kg and 170.1 mg/kg on average, and those in Xianyang were 12.3 g/kg, 62.7 mg/kg, 16.7 mg/kg and 173.2 mg/kg. In Weinan, the soil organic matter content was in the medium level and above in 83.2% of the orchards, while that in Xianyang was 85.7%. In terms of soil available N, 54.6% of the orchards of Weinan and 49.4% of the orchards of Xianyang were in the low and lower levels. What's more, the percentages of soil available P in the low level and below in Tongchuan and Xianyang were higher than 70%. For the soil available K, 57.4% of the orchards in Weinan and 60.9% of the orchards in Xianyang were in middle and upper level. The average contents of soil organic matter, available P and K of Baoji were 17.5 g/kg, 23.4 mg/kg and 179.2 mg/kg respectively, which made up 97.4%, 64.9% and 70.0% of the orchards separately in the medium and above levels. Meanwhile the mean available N was 78.3 mg/kg, and only 21.7% of the orchards were in the low and lower levels.【**Conclusions**】Soil nutrients in the main apple production regions of Shaanxi Province were relatively low, and varied among the apple orchards in different areas, so specific fertilization plans should be made according to local soil nutrient conditions.

**Key words:** Shaanxi Province; main apple production regions; organic matter; nitrogen; phosphate; potassium

陕西省是公认的苹果最佳优生区，苹果产业已成为当地特色产业和富民产业。2014 年全省苹果栽培面积为 66.52 万公顷，产量为 988.01 万吨，分别占全国总量的 29.30% 和 24.14%[1]。土壤作为农业生产的物质基础，土壤肥力水平的高低是影响苹果产量和品质形成的关键因素。土壤养分是土壤肥力的基础，由于果园土壤条件、施肥制度、管理栽培方式等的不同，各地苹果园土壤养分状况及限制因子存在较大差异。张义等[2]对陕西王东沟流域苹果园调查发现，苹果品质的限制因子主要为土壤全氮和有机质。郑小春等[3]对陕西白水县红富士苹果示范园土壤养分状况的统计分析表明，果园土壤有机质和速效氮含量均较低。张丽娜等[4]研究发现，黄土高原 6 个苹果生产基地县 (凤翔、白水、长武、西峰、延安、静宁) 的 21 个果园土壤全氮处于缺乏或较缺水平。各地苹果园土壤养分状况不同，苹果产量和品质也有所差异。赵佐平等[5]研究指出，氮磷钾和有机肥配合施用较单施化肥或有机肥对提高苹果产量和品质作用更为明显。张强等[6]研究了富士苹果土壤养分与果实品质的关系，结果表明果实品质受土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、铁、锌、硼等养分的共同影响。

苹果园土壤养分状况是制定果园土壤管理和施肥方案的重要依据之一，了解果园土壤养分含量及分布特征，对培肥土壤、合理制定施肥方案、实现苹果优质高产有重要作用。然而，目前关于陕西省

苹果园土壤养分的研究通常只涉及少数地区的部分果园，对整个主产区土壤肥力尚缺乏较为系统的研究。为了科学地指导陕西省苹果园合理施肥，提高苹果产量，改善果实品质，增加果农经济效益，并改善苹果园土壤生态环境，本研究自 2012～2016 年，对陕西苹果主产区延安、铜川、渭南、咸阳和宝鸡果园土壤养分含量进行测定，比较和分析各地区果园土壤有机质和氮磷钾养分分布特征，以期为陕西省苹果园平衡施肥和土壤养分管理提供理论依据。

# 1　材料与方法

## 1.1　研究区概况

陕西省地处中国西北内陆腹地，东经 105°29′～111°15′，北纬 31°42′～39°35′。境内苹果产区气候温良，年均气温 9.7～12.8℃，昼夜温差达 10℃ 以上，年均降水量 500～600 mm，光照充足，年日照在 2200～2500 h，无霜期 158～225 d，≥ 5℃ 积温为 4126℃，平均持续日数 235 d；≥ 10℃ 积温为 3697℃，平均持续日数 188 d[7]；海拔高度 450～1300 m，基本地貌类型为高原、丘陵和平原，该区黄土覆盖深厚、土质疏松、质地适中，土壤类型以黄绵土、褐土和黑垆土为主。

## 1.2　样品采集与分析

分别于 2012～2016 年果实采摘后第一次施肥前，在陕西延安、铜川、渭南、咸阳、宝鸡等地区（主要包括安塞、耀州、白水、长武和千阳等 24 个县区）选择有代表性的果园作为采样点，样点数分别为 17208、2634、8589、14723 和 303 个。根据每个果园地形和具体面积，采取“S”形随机多点方法，采集 0—40 cm 土层土壤样品，混匀后用四分法留取 1 kg 土样供分析使用。置室内风干后，过 1 mm 和 0.25 mm 筛用于土壤养分含量的测定。

土壤样品有机质用外加热重铬酸钾容量法测定，碱解氮用 1.0 mol/LNaOH 碱解扩散法，有效磷用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提—钼锑抗比色法，速效钾用 1.0 mol/L $NH_4OAc$ 浸提—火焰光度法测定[8]。

## 1.3　数据统计

由于数据量大，容易受各方面影响出现离群值，为提高数据准确度，采用拉依达法[9]即 3 倍方差法来检测离群值并将其剔除，有机质、碱解氮、有效磷和速效钾分别剔除 616、384、2895 和 985 个。

剔除离群值后，运用 Excel 2003、SPSS 22.0 对土壤养分数据进行统计分析，利用 Origin 9.0 制图，得出整个主产区苹果园土壤养分基本情况。同时，参照高义民等[10]果园养分分级标准 (表 1)，确定陕西省苹果主产区各土壤养分丰缺等级所占百分比，以此评价陕西省苹果主产区土壤肥力状况。

# 2　结果与分析

## 2.1　土壤有机质含量

陕西省苹果主产区土壤有机质含量变幅在 2.8～28.4 g/kg，平均为 11.5 g/kg (图 1)，变异系数为 26.6%，属于中等变异。在 5 个地区中，宝鸡果园土壤有机质含量在 6.9～28.4 g/kg，平均为 17.5 g/kg，明显高于另外 4 个地区；其次为铜川，该地区果园土壤有机质含量均值为 14.2 g/kg，与宝鸡相比，降低了 18.9%；渭南和咸阳果园土壤有机质平均含量略低于铜川地区，分别为 13.1 g/kg 和 12.3 g/kg；延安果园土壤有机质含量最低，变幅在 3.6～15.5 g/kg，均值仅为 9.5 g/kg，比全省果园土壤有机质平均含量低 17.4%。

从土壤有机质含量分布情况 (表 2) 来看，全省苹果园土壤有机质含量在较低水平和中等水平所占比例较大，分别为 32.5% 和 54.9%，有机质超过 15 g/kg 的果园仅占 11.9%。延安地区 60.0% 的果园有机质含量为 5～10 g/kg，属于较低水平；38.0% 的果园有机质含量为 10～15 g/kg，属于中等水平，只有

**表 1　苹果园土壤养分分级标准**

**Table 1　Standards for the classification of the soil nutrient status of apple orchards**

| 分级级别 Classificatiorn | 级别 Level | 有机质 (g/kg) Organic matter | 碱解氮 (mg/kg) Available N | 有效磷 (mg/kg) Available P | 速效钾 (mg/kg) Available K |
|---|---|---|---|---|---|
| Ⅰ | 低 Low | ≤ 5 | ≤ 40 | ≤ 10 | ≤ 100 |
| Ⅱ | 较低 Lower | 5～10 | 40～60 | 10～20 | 100～150 |
| Ⅲ | 中 Medium | 10～15 | 60～80 | 20～30 | 150～200 |
| Ⅳ | 较高 Higher | 15～20 | 80～100 | 30～40 | 200～250 |
| Ⅴ | 高 High | >20 | >100 | >40 | >250 |

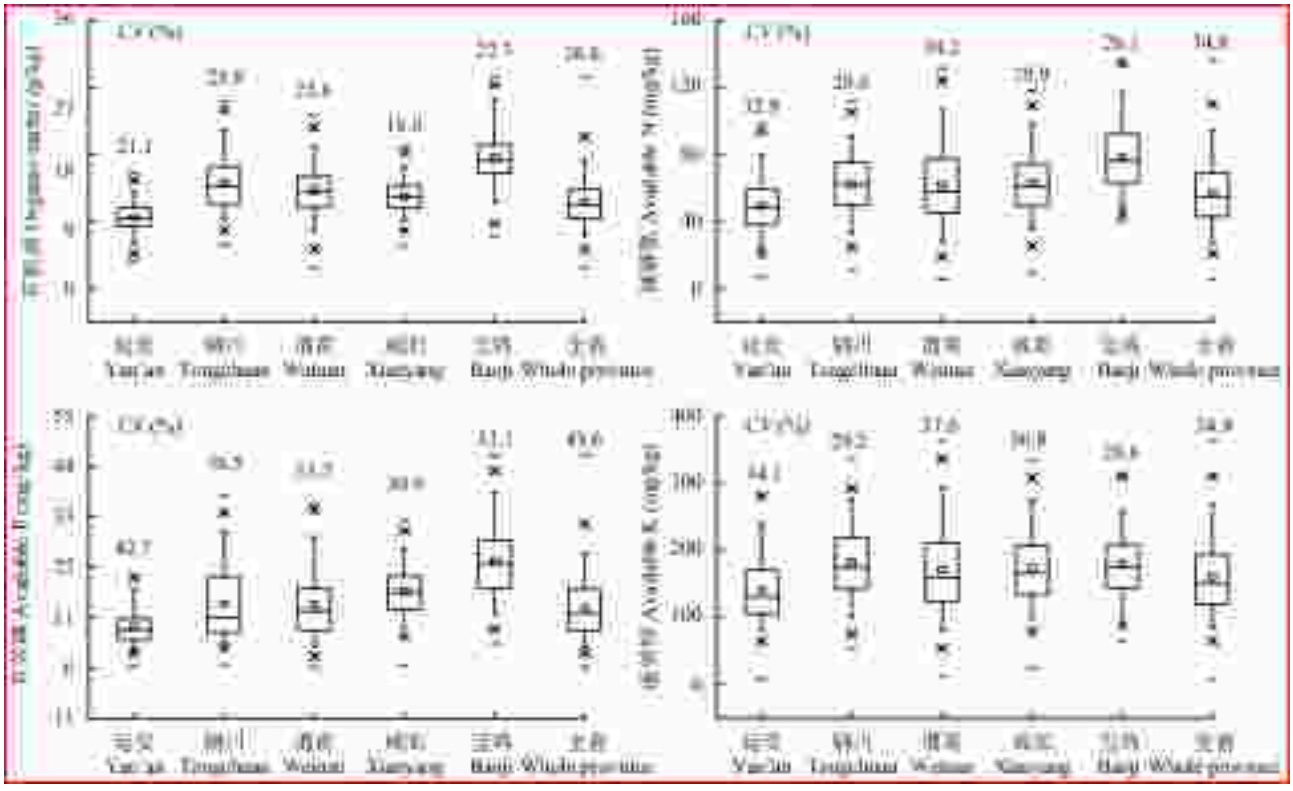

**图 1 陕西不同地区苹果园土壤有机质和氮磷钾养分含量**

**Fig. 1 Contents of soil organic matter, available N, available P and K in apple orchards of different regions in Shanxi Province**

[注（Note）：箱体上的数字表示各地果园土壤养分的变异系数；箱体中的“-”和“□”分别代表中值和均值，箱体的上、下边界线代表 75% 和 25% 点位，连接在箱体外的上、下小横线代表 95% 和 5% 点位，“×”代表 99% 和 1% 点位，“-”代表最大值和最小值 Data above the boxes represent coefficients of variation of soil nutrients in different regions. “-” and “□” within the boxes represent medium and mean，respectively; the box boundaries indicate the upper and lower quartiles，the whisker caps indicate 95th and 5th percentiles，“×” indicate 99th and 1th percentiles，and “-” indicate maximum and minimum.]

0.4% 的果园有机质含量处于较高水平。所有地区中，咸阳果园土壤有机质含量在中等水平所占比例最大，达 74.0%，较低水平和较高水平的果园分别占 14.3% 和 11.7%。渭南、铜川地区超过四分之三的果园土壤有机质处于中等及以上水平，各有 16.8% 和 11.1% 的果园有机质处于较低和低等水平。宝鸡有 77.9% 的果园土壤有机质含量在较高和高等水平，处于中等和较低水平的果园分别占 19.5% 和 2.6%。这说明陕西省不同地区间果园土壤有机质含量差异较大，总体呈现自北向南、自东向西增加的趋势。

## 2.2 土壤碱解氮含量

碱解氮是土壤中能被作物直接吸收利用的氮素，可反映土壤氮素的动态变化和供氮水平。整个主产区苹果园土壤碱解氮含量变幅在 5.0～136.0 mg/kg 之间，平均为 57.1 mg/kg，变异系数 34.8%，属中等变异(图 1)。宝鸡果园土壤碱解氮含量最高，均值为 78.3 mg/kg；铜川、渭南和咸阳次之，三个地区间果园土壤碱解氮含量差异较小，其均值分别为 62.0 mg/kg、61.6 mg/kg 和 62.7 mg/kg；延安地区果园土壤碱解氮含量最低，变幅在 7.0～98.2 mg/kg，均值为 49.4 mg/kg，比全省果园土壤碱解氮平均含量低 13.5%。

表 2 显示，全省果园土壤碱解氮含量在较高和高等水平所占比例较小，仅为 13.2%；有 25.0% 的果园土壤碱解氮含量在中等水平，大部分果园土壤碱解氮含量处于低等和较低水平，所占比例为 61.8%。果园土壤供氮水平较低的地区是延安，分别有 31.4% 和 46.3% 的果园土壤碱解氮含量处于低等和较低水平，17.3% 的果园在中等水平，只有 5.0% 的果园在较高水平。相较于延安地区，渭南果园土壤碱解氮含量在中等水平和较高水平分别增加 6.3 和 9.8 个百分点，在较低和低等水平共减少 23.1 个百分点。铜川和咸阳地区果园土壤碱解氮分布状况类似，均约有三分之一的果园处于中等水平，45.0% 左右的果园处于较低和低等水平，约 17.0% 的果园处于较高和

表 2　陕西不同地区苹果园土壤养分分布状况 (%)

Table 2　Distribution of soil nutrients in apple orchards of different regions Shannxi Province

| 养分 Nutrient | 地区 Region | 低 Low | 较低 Lower | 中 Medium | 较高 Higher | 高 High |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 有机质 Organic matter | 延安 Yan'an | 1.6 | 60.0 | 38.0 | 0.4 | 0.0 |
| | 铜川 Tongchuan | 0.0 | 11.1 | 51.1 | 30.8 | 7.0 |
| | 渭南 Weinan | 0.8 | 16.0 | 58.2 | 21.9 | 3.1 |
| | 咸阳 Xianyang | 0.0 | 14.3 | 74.0 | 11.7 | 0.0 |
| | 宝鸡 Baoji | 0.0 | 2.6 | 19.5 | 57.0 | 20.9 |
| | 全省 Whole province | 0.8 | 32.5 | 54.9 | 10.7 | 1.2 |
| 碱解氮 Available N | 延安 Yan'an | 31.4 | 46.3 | 17.3 | 5.0 | 0.0 |
| | 铜川 Tongchuan | 13.9 | 32.5 | 36.6 | 15.6 | 1.4 |
| | 渭南 Weinan | 17.2 | 37.4 | 23.6 | 14.8 | 7.0 |
| | 咸阳 Xianyang | 9.9 | 39.5 | 33.0 | 14.0 | 3.6 |
| | 宝鸡 Baoji | 0.4 | 21.3 | 36.4 | 28.7 | 13.2 |
| | 全省 Whole province | 20.2 | 41.6 | 25.0 | 10.5 | 2.7 |
| 有效磷 Available P | 延安 Yan'an | 70.7 | 28.6 | 0.6 | 0.0 | 0.0 |
| | 铜川 Tongchuan | 45.8 | 29.5 | 20.4 | 4.3 | 0.0 |
| | 渭南 Weinan | 35.4 | 45.6 | 14.9 | 4.1 | 0.0 |
| | 咸阳 Xianyang | 9.6 | 64.6 | 24.8 | 0.9 | 0.0 |
| | 宝鸡 Baoji | 2.0 | 33.1 | 47.1 | 14.0 | 3.8 |
| | 全省 Whole province | 40.3 | 44.7 | 13.5 | 1.4 | 0.03 |
| 速效钾 Available K | 延安 Yan'an | 21.7 | 45.8 | 21.4 | 7.9 | 3.2 |
| | 铜川 Tongchuan | 5.2 | 27.6 | 30.0 | 26.0 | 11.2 |
| | 渭南 Weinan | 12.5 | 30.1 | 29.0 | 15.9 | 12.5 |
| | 咸阳 Xianyang | 6.1 | 33.0 | 33.9 | 16.7 | 10.3 |
| | 宝鸡 Baoji | 4.3 | 25.7 | 38.9 | 18.2 | 12.9 |
| | 全省 Whole province | 13.4 | 37.0 | 27.8 | 13.7 | 8.1 |

高等水平。宝鸡苹果园土壤供氮能力较高，和其他地区相比，土壤碱解氮含量在较高和高等水平的果园所占比例最大，达 41.9%，含量在中等水平的果园所占比例为 36.4%，仅有 21.7% 的果园土壤碱解氮在较低和低等水平。从全省来看，碱解氮含量具有西、南高，东、北低的分布特征。

### 2.3　土壤有效磷含量

有效磷是表征土壤供磷能力，确定磷肥用量和农业磷环境风险评价的重要指标[11]。目前，陕西省各地区间苹果园土壤有效磷含量差异较大，全省有效磷含量在 0.1～46.4 mg/kg，平均为 13.0 mg/kg，变异系数达 49.6% (图 1)，明显高于其他土壤养分变异系数。宝鸡果园土壤有效磷含量最高，变幅在 5.4～46.4 mg/kg，平均为 23.4 mg/kg，比全省有效磷平均含量高 80.0%；咸阳次之，其果园土壤有效磷含量平均为 16.7 mg/kg，比宝鸡地区果园有效磷含量低 28.6%。铜川和渭南地区果园土壤有效磷含量差异较小，其均值分别为 13.9 mg/kg 和 13.7 mg/kg。延安果园土壤有效磷含量在 0.3～20.4 mg/kg，均值为 9.0 mg/kg，是陕西省苹果园土壤有效磷含量最低的地区。

陕西省苹果主产区土壤供磷能力低，只有 14.9% 的果园土壤有效磷在中等和较高水平，大部分果园土壤有效磷处于较低和低等水平，所占比例为 85.0%。具体来看，铜川、渭南、咸阳分别有 75.3%、81.0%、74.2% 的果园土壤有效磷处于较低和低等水平，尤其是延安地区基本上所有果园均处于缺磷状态，土壤

有效磷在较低和低等水平的果园所占比例高达99.3%。但宝鸡地区有64.9%的果园土壤有效磷在中等及以上水平，处于较低和低等水平的果园所占比例为35.1%，远低于其他四个地区(表2)。可见，目前陕西省苹果主产区大部分果园土壤有效磷比较缺乏，全区分布特征与有机质、碱解氮相似。

### 2.4 土壤速效钾含量

速效钾是衡量土壤钾素供应能力的重要指标之一。陕西省苹果园土壤速效钾含量变幅为8.0～363.0 mg/kg，平均值为160.4 mg/kg，变异系数为34.9%(图1)。延安地区果园土壤速效钾含量最低，均值仅为140.0 mg/kg，比全省均值低12.7%。除延安外，其他地区果园土壤速效钾平均含量均高于全省。其中，铜川和宝鸡果园土壤速效钾含量均值分别为181.6 mg/kg和179.2 mg/kg，地区间差异较小；渭南和咸阳果园土壤速效钾含量略低于铜川和宝鸡，均值分别为170.1 mg/kg和173.2 mg/kg。

由表2可见，整个区域有27.8%的苹果园土壤速效钾处于中等水平，21.8%的果园处于较高和高等水平，50.4%的果园处于较低和低等水平。渭南地区果园土壤速效钾在中等及以上水平的比例为57.4%，30.1%的果园为较低水平，12.5%的果园为低等水平。与渭南果园土壤速效钾分布现状相比，延安果园在中等及以上水平所占比例减少24.9个百分点，在较低和低等水平所占比例分别增加15.7个百分点和9.2个百分点。相对而言，铜川、咸阳和宝鸡果园土壤含钾量较高，各有32.8%、39.1%和30.0%的果园土壤速效钾含量在较低和低等水平，处于中等及以上水平的果园所占比例分别为67.2%、60.9%和70.0%。

## 3 讨论

果园土壤养分状况可为果园土壤管理和合理施肥提供依据。本研究结果表明，陕西省苹果主产区土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾有效养分均值分别为11.5 g/kg、57.1 mg/kg、13.0 mg/kg和160.4 mg/kg，与第二次土壤普查结果[12]相比，产区果园土壤有机质、碱解氮、速效钾含量有较小幅度提高，有效磷含量增加明显。但是，据报道国外果园土壤有机质含量多在30 g/kg以上，日本、新西兰等苹果优果率高的国家果园土壤有机质含量高达40～60 g/kg，我国无公害苹果技术规程也要求土壤有机质含量需达到15 g/kg以上，最好能达到30 g/kg[13]。而陕西省苹果园土壤有机质含量为2.8～28.4 g/kg，均未达到30 g/kg以上，达到15 g/kg以上的仅占11.9%。同时，从当前土壤养分丰缺状况来看，整个区域有机质、碱解氮、有效磷和速效钾处于较低和低等水平的果园所占比例分别为33.3%、61.8%、85.0%和50.4%，说明陕西省苹果主产区土壤肥力水平总体较低，已成为制约苹果产业发展的因素。

影响土壤肥力水平高低的因素众多，母质是土壤形成的基础，陕西省苹果产区土壤类型以黄绵土、黑垆土和褐土为主，均由黄土母质发育而成，土质疏松，土壤瘠薄且保水保肥性能差，可能是该区果园土壤养分含量低的原因之一。肥料是保证果树正常发育的重要物质，合理施肥能够提高土壤肥力，增加苹果产量，改善果实品质[14–16]，在生产实践中果农往往通过施肥来达到优质高产的目的。然而，由于果农对果园营养状况难以准确掌握和判断，目前陕西省苹果园肥料施用方面存在诸多问题。赵佐平等[17]调查了渭北旱塬合阳、白水、洛川3个苹果生产县果园施肥情况，指出当地有78.3%的果园氮肥投入过量，磷肥投入过量和不足的农户分别占41.2%和36.6%，51.2%的果农施钾量偏低，由有机肥提供的氮磷钾养分比例由1994年的51%下降到现在的5.54%。王小英等[18]也指出，陕西苹果园氮肥投入过量，磷肥和钾肥投入过量与不足并存，有机肥投入不足。郑小春等[19]调查却发现，陕西白水县‘红富士’苹果园氮磷钾肥施用均存在不足和过量现象。可见，各地果园施肥情况因管理水平和投入产出比的差异而不尽相同。土壤中的养分，除部分被果树吸收用于其生长发育，并以有机化合物的形态贮存在树体内，每年还有较大比例通过果实采摘和枯枝落叶清理等方式而被带走。如果施肥不足，必然导致土壤中有机质和氮、磷、钾等矿质养分的大量消耗。若施肥过量，就氮肥而言，在降雨或灌溉条件下极易以硝态氮的形式向土壤深层淋溶累积，而苹果树根系集中分布在0—40 cm土层，因此这部分氮素难以被果树再次利用[20–21]；产区为石灰性土壤，通过氨挥发和反硝化等途径损失的氮量也不可忽视[22–23]。另外，过量磷肥施入石灰性土壤后，易经过沉淀作用形成稳定的磷化合物如磷酸八钙和磷灰石而被土壤固定，其移动性较小，难以被植物吸收利用[24]。因此，苹果生产中果园长期不合理施肥，也可能是陕西苹果产区土壤有效养分低的重要原因。

陕西省苹果园土壤养分含量具有明显的区域性，延安是5个主产区中土壤有机质和速效氮磷钾含量较低的地区，宝鸡果园土壤养分含量较高。土

壤和气候类型的不同是造成陕西苹果园土壤养分地区间差异的主要原因。延安位于陕北南半部，属暖温带半湿润易旱气候，多年平均气温 10.2℃，年均降水量 513.8 mm[25]，果园土壤主要为黄绵土，成土时间短，发育微弱，且土壤常遭受强烈侵蚀，有机质缺乏，土壤肥力低。宝鸡位于关中平原西部，为暖温带半湿润气候，多年平均气温 11.4℃，年均降水量 621.9 mm[26]，水热条件优于延安地区，这有利于植物生长，增加有机质的积累，同时微生物活动增强，又能促进土壤有机质的分解及氮磷等营养元素的矿化，且宝鸡果园土壤以褐土为主，发育程度较黄绵土成熟，土壤肥力水平相对来说也更高。

施用有机肥不仅能为作物提供养分，还能改善土壤结构，促进微生物繁殖，提高微生物活性和多样性，活化土壤养分，增强土壤保水保肥能力[27–29]。针对陕西省苹果主产区土壤养分和施肥现状，生产中应基于果园土壤养分含量，结合苹果各物候期的需肥规律，调整施肥时期和肥料配比，适当控制化肥的投入，增加有机肥的用量，提高土壤肥力，以利于苹果生产。此外，国内外研究表明，果园生草具有蓄水保墒、培肥地力、调节果园小气候等作用[30–32]。同时，秸秆覆盖也能增加土壤孔隙度，提高田间贮水量和土壤养分含量[33–34]。果园生草和秸秆覆盖已被世界许多国家广泛应用，在我国苹果园虽处于试验或小面积应用阶段，但从陕西地区的试验结果来看，这两种地面管理措施对果园土壤肥力的改善效果显著。因此，果园生草和秸秆覆盖也可成为陕西地区苹果园重要的土壤培肥措施。

## 4　结论

陕西省苹果主产区土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾平均含量分别为 11.5 g/kg、57.1 mg/kg、13.0 mg/kg 和 160.4 mg/kg。不同地区间土壤养分存在差异，基本上呈现出西、南高，东、北低的分布特征，即宝鸡是果园土壤养分含量最高的地区，咸阳、渭南和铜川次之，延安果园土壤养分含量最低。整个苹果产区土壤养分含量总体较低，建议今后在苹果栽培过程中应大力推广科学施肥技术，重视有机肥投入，适当控制化肥用量，推进果园生草和秸秆覆盖技术的广泛应用，以实现陕西省苹果园土壤肥力提升和养分均衡供应。

**参 考 文 献：**

[1] 中华人民共和国国家统计局数据[DB/OL]. [2017-01-05]. http://data.stats.gov.cn/
Date of National Bureau of Statistics of the People's Republic of China [DB/OL]. [2017-01-05] http://data.stats.gov.cn/

[2] 张义, 谢永生, 郝明德. 黄土沟壑区王东沟流域苹果品质限制性生态因子探析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1184–1190.
Zhang Y, Xie Y S, Hao M D. Limiting ecological factors evaluation of high-quality apple at Wangdonggou watershed in loess gully region[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(6): 1184–1190.

[3] 郑小春, 车金鑫, 卢海蛟, 等. 陕西白水县红富士苹果示范园土壤养分状况分析[J]. 西北农业学报, 2011, 20(10): 97–101.
Zheng X C, Che J X, Lu H J, *et al*. Analysis on soil nutrient availability of Fuji apple demonstration orchards in Baishui County in Weibei Area of Shaanxi[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2011, 20(10): 97–101.

[4] 张丽娜, 李军, 范鹏, 等. 黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1907–1915.
Zhang L N, Li J, Fan P, *et al*. Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1907–1915.

[5] 赵佐平, 高义民, 刘芬, 等. 化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(11): 2229–2236.
Zhao Z P, Gao Y M, Liu F, *et al*. Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on the leaf nutrition, quality and yield of Fuji apple[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(11): 2229–2236.

[6] 张强, 魏钦平, 刘惠平, 等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1654–1661.
Zhang Q, Wei Q P, Liu H P, *et al*. Multivariate analysis and optimum proposals of the relationship between soil nutrients and fruit qualities in apple orchard[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(8): 1654–1661.

[7] 张维敏, 李艳莉, 刘耀武, 等. 近50a陕西苹果果区积温变化趋势及突变特征分析[J]. 陕西农业科学, 2012, (5): 60–63.
Zhang W M, Li Y L, Liu Y W, *et al*. Accumulative temperature change tendency and characteristics of apple orchards in Shaanxi Province over the last 50 years[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2012, (5): 60–63.

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 30–165.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (Third Edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 30–165.

[9] 赵辉, 邵素华, 谢东坡. 分析数据中离群值的处理方法[J]. 周口师范学院学报, 2004, 21(5): 70–71.
Zhao H, Shao S H, Xie D P. Examination method for outlier of analytical data[J]. Journal of Zhoukou Teachers College, 2004, 21(5): 70–71.

[10] 高义民, 同延安, 路永莉, 王小英. 陕西渭北红富士苹果园土壤有效养分及长期施肥对产量的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(4): 613–622.
Gao Y M, Tong Y A, Lu Y L, Wang X Y. Effects of soil available nutrients and long-term fertilization on yield of Fuji apple orchard of Weibei area in Shaanxi, China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(4): 613–622.

[11] 王淑英, 胡克林, 路苹, 于同泉. 北京平谷区土壤有效磷的空间变异特征及其环境风险评价[J]. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1290–1298.

Wang S Y, Hu K L, Lu P, Yu T Q. Spatial variability of soil available phosphorus and environmental risk analysis of soil phosphorus in Pinggu County of Beijing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(4): 1290–1298.

[12] 郭兆元, 黄自立, 冯立孝. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 363, 400, 434, 449.
Guo Z Y, Huang Z L, Feng L X. Shaanxi soil [M]. Beijing: Science Press, 1992: 363, 400, 434, 449.

[13] 黎青慧, 田霄鸿. 陕西平衡施肥示范果园土壤肥力调查分析[J]. 西北园艺 (果树), 2006, (1): 47–48.
Li Q H, Tian X H. Investigation and analysis on soil fertility of balanced fertilization demonstration orchard in Shaanxi Province[J]. Northwest Horticulture (Fruit Tree), 2006, (1): 47–48.

[14] 龚伟, 颜晓元, 王景燕. 长期施肥对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 336–342.
Gong W, Yan X Y, Wang J Y. Effect of long-term fertilization on soil fertility[J]. Soils, 2011, 43(3): 336–342.

[15] Raese J T, Drake S R, Curry E A. Nitrogen fertilizer influences fruit quality, soil nutrients and cover crops, leaf color and nitrogen content, biennial bearing and cold hardiness of 'Golden Delicious'[J]. Journal of Plant Nutrition, 2007, 30(10): 1585–1604.

[16] Zhang L, Zhou J, Zhao Y G, *et al*. Optimal combination of chemical compound fertilizer and humic acid to improve soil and leaf properties, yield and quality of apple in the Loess Plateau of China[J]. Pakistan Journal of Botany, 2013, 45(4): 1315–1320.

[17] 赵佐平, 同延安, 刘芬, 等. 渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 1003–1009.
Zhao Z P, Tong Y A, Liu F, *et al*. Assessment of current conditions of household fertilization of apples in Weibei Plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(8): 1003–1009.

[18] 王小英, 同延安, 刘芬, 赵佐平. 陕西省苹果施肥状况评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 206–213.
Wang X Y, Tong Y A, Liu F, Zhao Z P. Evaluation of the situation of fertilization in apple fields in Shaanxi province[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(1): 206–213.

[19] 郑小春, 卢海蛟, 车金鑫, 等. 白水县苹果产量及施肥现状调查[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2011, 39(9): 145–151.
Zheng X C, Lu H J, Che J X, *et al*. Investigation of present yield and fertilization on Fuji apple in Baishui County[J]. Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition), 2011, 39(9): 145–151.

[20] 樊军, 邵明安, 郝明德, 王全九. 渭北旱塬苹果园土壤深层干燥化与硝酸盐累积[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1213–1216.
Fang J, Shao M A, Hao M D, Wang Q J. Desiccation and nitrate accumulation of apple orchard soil on the Weibei dryland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(7): 1213–1216.

[21] 樊红柱, 同延安, 吕世华. 休眠期苹果树体不同器官氮素的分布[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2008, 36(1): 153–157.
Fan H Z, Tong Y A, Lü S H. Study on nitrogen distribution in different organs of apple tree at dormancy[J]. Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition), 2008, 36(1): 153–157.

[22] Follett R F, Delgado J A. Nitrogen fate and transport in agricultural systems[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 57(6): 402–408.

[23] 庞军柱, 王效科, 牟玉静, 等. 黄土高原苹果园土壤$N_2O$排放研究[J]. 环境科学学报, 2010, 30(12): 2518–2525.
Pan J Z, Wang X K, Mu Y J, *et al*. Nitrous oxide emissions from apple orchard soil in semiarid Loess Plateau of China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(12): 2518–2525.

[24] Shen J B, Yuan L X, Zhang J L, *et al*. Phosphorus dynamics: from soil to plant[J]. Plant Physiology, 2011, 156(3): 997–1005.

[25] 卢爱刚, 王瑛. 延安市近60年气温与降水趋势突变分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 60–62.
Lu A G, Wang Y. Analysis of temperature and precipitation tendency over the last 60 years of Yan'an[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(1): 60–62.

[26] 王春娟, 杨婷婷. 陕西宝鸡市近50年农业气候资源特征分析[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2012, 40(11): 53–58.
Wang C J, Yang T T. Characteristics of agriculture climatology in Baoji over the last 50 years[J]. Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition), 2012, 40(11): 53–58.

[27] 赵红, 袁培民, 吕贻忠, 李季. 施用有机肥对土壤团聚体稳定性的影响[J]. 土壤, 2011, 43(2): 306–311.
Zhao H, Yuan P M, Lü Y Z, Li J. Effect of organic manure on soil aggregate stability[J]. Soils, 2011, 43(2): 306–311.

[28] Zhong W H, Gu T, Wang W, *et al*. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity[J]. Plant and Soil, 2010, 326(1): 511–522.

[29] Sun J, Zhang Q, Zhou J, Wei Q P. Pyrosequencing technology reveals the impact of different manure doses on the bacterial community in apple rhizosphere soil[J]. Applied Soil Ecology, 2014, 78: 28–36.

[30] 刘富庭, 张林森, 李雪薇, 等. 生草对渭北旱地苹果园土壤有机碳组分及微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 355–363.
Liu F T, Zhang L S, Li X W, *et al*. Effects of inter-row planting grasses on soil organic carbon fractions and soil microbial community of apple orchard in Weibei dryland[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(2): 355–363.

[31] Palese A M, Vignozzi N, Celano G, *et al*. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard[J]. Soil and Tillage Research, 2014, 144: 96–109.

[32] 杜毅飞, 方凯凯, 王志康, 等. 生草果园土壤微生物群落的碳源利用特征[J]. 环境科学, 2015, 36(11): 4260–4267.
Du Y F, Fang K K, Wang Z K, *et al*. Carbon source utilization characteristics of soil microbial community for apple orchard with interplanting herbage[J]. Environmental Science, 2015, 36(11): 4260–4267.

[33] 高茂盛, 廖允成, 李侠, 黄金辉. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2080–2087.
Gao M S, Liao Y C, Li X, Huang J H. Effects of different mulching patterns on soil water-holding capacity of non-irrigated apple orchard in the Weibei Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(10): 2080–2087.

[34] Chen Y X, Wen X X, Sun Y L, *et al*. Mulching practices altered soil bacterial community structure and improved orchard productivity and apple quality after five growing seasons[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 172: 248–257.