植物营养与肥料学报 2015,21(2): 485 -491 doi: 10.11674/zwyf.2015.0224
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer http://www.plantnutrifert.org

辽西‘富士’苹果 CND 法营养诊断研究

范元广, 李 壮, 厉恩茂, 李 敏, 程存刚*
(中国农业科学院果树研究所, 农业部果树种质资源重点开放实验室, 辽宁兴城 125100)

摘要:【目的】辽西地区‘富士’苹果的栽培面积和产量占辽宁省较大比例,但其施肥管理缺乏科学理论依据,本研究采用 Compositional Nutrient Diagnosis (CND)法对辽西‘富士’果园的营养状况开展叶片分析研究,初步探明辽西地区‘富士’果园营养状况,指导果园施肥管理。**【方法】**以 86 个有代表性的‘富士’苹果园为研究试材,测定了果园产量,果实品质以及叶片中氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、铜(Cu)、锰(Mn)、锌(Zn)元素的含量。采用 CND 法对高生产水平果园进行划分,并对低产水平果园进行营养诊断。采用 CND 法对高产果园产量划分标准临界值进行确定;对果实品质的划分标准进行确定: 第一,对果实品质的 6 个指标进行归一化;第二,对 6 个指标进行主成分分析,得到 6 个指标的综合评价得分;第三,采用 CND 法对果实品质综合得分进行划分,得到果实品质的划分标准临界值;选择同时满足产量和品质划分标准临界值的果园,结合专家咨询法,确定高生产水平果园的划分标准。根据高生产水平果园的营养状况确定 CND 法标准参比值,并以此为基础进行叶营养诊断,得到辽西‘富士’果园的叶营养状况。针对叶营养状况进行土壤营养丰缺状况的分析,得到辽西‘富士’果园的营养状况的整体情况。**【结果】**根据 CND 法的叶分析可以得到: 高生产水平果园的产量划分临界值为 44.556t/hm^2,品质评价综合得分的划分临界值为 0.792,辽西地区满足此条件的果园有 13 个,占总体采样园的 15.12%;不同营养元素 CND 法叶标准参比值为: $V_N^* = 2.776$, $V_P^* = 0.212$, $V_K^* = 1.884$, $V_{Ca}^* = 2.042$, $V_{Mg}^* = 0.814$, $V_{Fe}^* = -2.470$, $V_{Cu}^* = -5.090$, $V_{Mn}^* = -2.631$, $V_{Zn}^* = -3.867$, $V_R^* = 6.330$; $SD_N^* = 0.173$, $SD_P^* = 0.144$, $SD_K^* = 0.155$, $SD_{Ca}^* = 0.266$, $SD_{Mg}^* = 0.307$, $SD_{Fe}^* = 0.189$, $SD_{Cu}^* = 0.474$, $SD_{Mn}^* = 0.467$, $SD_{Zn}^* = 0.325$, $SD_R^* = 0.134$;辽西‘富士’苹果低生产水平果园需肥顺序为: Fe > Mn > P > N > Ca > K > Cu > Zn > Mg。**【结论】**CND 法使叶分析研究可同时考虑果园产量和果实品质。以此方法进行分析,辽西地区高生产水平果园的产量划分临界值为 38.451 t/hm^2,品质评价综合得分的划分临界值为 0.792,辽西地区满足此条件的果园有 13 个,仅占总体采样园的 15.12%;辽西地区‘富士’苹果的树体营养状况表现为 Fe、Mn、P 和 N 元素缺乏;土壤丰缺状况表现为 Fe、Mn 元素含量适宜,N、P 元素缺乏;建议辽西‘富士’低生产水平果园的 N、P、K 施用采用少量多次原则,适当增加 Fe、Mn 元素叶面肥的施用。

关键词: CND;‘富士’苹果; 标准参比值; 营养诊断; 营养状况
中图分类号: S661.1; S147.21+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)02-0485-07

Nutrient diagnosis of ‘Fuji’ Apple in west Liaoning Province using compositional nutrient diagnosis (CND) method

FAN Yuan-guang, LI Zhuang, LI En-mao, LI Min, CHENG Cun-gang*
(*Institute of Pomology of CAAS/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Fruit Germplasm Resources Utilization, Xingcheng 125100, China*)

Abstract:【Objectives】 The cultivation areas and yields of "Fuji" apples in west Liaoning Province account for a larger proportion of the total apple production in Liaoning Province. The fertilizer managements are deficient in scientific base. The Compositional Nutrient Diagnosis method (CND) is preliminary used for the study of the status of ‘Fuji’ apple nutrition in west Liaoning Province, and provides a guide for the orchards fertilization management. **【Methods】** Eighty six representative apple orchards were selected, the yields, fruit qualities and contents of nitrogen (N)、phosphorus (P)、potassium (K)、calcium (Ca)、magnesium (Mg)、iron (Fe)、copper(Cu)、

收稿日期: 2014-01-07 **接受日期:** 2014-11-24
基金项目: 国家“863 计划”项目(2013AA102405); 公益性行业(农业)科研专项经费项目“绿肥作物生产与利用技术集成研究及示范”(201103005); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-28)
作者简介: 范元广(1988—), 男, 河北衡水人, 硕士研究生, 主要从事果树生理与栽培研究。E-mail: 243811744@qq.com
李壮与第一作者同等贡献。 *通信作者 E-mail: ccungang2003@163.com

manganese (Mn)、zinc (Zn) were measured. The CND method was adopted for dividing the samples into high and low production level subpopulation, and bringing the low production level subpopulation nutrient diagnosis into force. The yield cutoff value of high production level subpopulation was confirmed by CND, and the procedures of fruit quality evaluation composite scores cutoff value were as follows: firstly, the six indexes of fruit quality were normalized; secondly, the principal component analysis was carried out on the six indexes, composite evaluation scores of six indexes were determined; thirdly, by the method of CND, fruit quality composite evaluation scores cutoff value was obtained. Orchards which met with the CND and expert consultation method standards of yield and quality cutoff values at the same time were separated from the samples. CND norms were calculated according to the high level production subpopulation nutritional status. Based on which, leaf nutrient diagnosis was put into effect, and the condition of nutrient was present. 【**Results**】The leaf analysis with CND indicated that yield cutoff value of the high production level subpopulation was 44.556 t/ha, the fruit quality evaluation composite scores cutoff value was 0.792. There were 13 orchards which met the conditions, accounting for 15.12% of the total orchards. The CND norms were $V_N^* = 2.776$, $V_P^* = 0.212$, $V_K^* = 1.884$, $V_{Ca}^* = 2.042$, $V_{Mg}^* = 0.814$, $V_{Fe}^* = -2.470$, $V_{Cu}^* = -5.090$, $V_{Mn}^* = -2.631$, $V_{Zn}^* = -3.867$, $V_R^* = 6.330$; $SD_N^* = 0.173$, $SD_P^* = 0.144$, $SD_K^* = 0.155$, $SD_{Ca}^* = 0.266$, $SD_{Mg}^* = 0.307$, $SD_{Fe}^* = 0.189$, $SD_{Cu}^* = 0.474$, $SD_{Mn}^* = 0.467$, $SD_{Zn}^* = 0.325$, $SD_R^* = 0.134$; the low level production subpopulation fertilizer orders were Fe > Mn > P > N > Ca > K > Cu > Zn > Mg. 【**Conclusions**】The leaf analysis is established on the yield and fruit quality with CND. The investigation results obtained using the method show that in west Liaoning Province, the criteria for high yield is 38.451 t/ha, for good fruit quality is 0.792. The number of orchards meet the two criteria is 13, only accounting for the 15.12% of the total orchards. In 'Fuji' apple of west Liaoning Province, Fe, Mn, P and N are in deficiency; soil available Fe and Mn contents are appropriate, soil N and P are deficient. Therefore, N and P fertilizers are recommended to be applied in small amount and several times, Fe and Mn could be foliar sprayed appropriately in the apple production of west Liaoning Province.

Key words: CND; 'Fuji' apple; norms; nutrient diagnosis; status of nutrients

叶分析营养诊断技术[1]是指导果园科学施肥的重要手段,我国陕西[2]、山东[3]、河南[4]、河北[5]等'富士'苹果主产区先后开展大批量的叶营养分析工作,在提高肥料利用效率、降低环境生态压力等方面发挥了积极作用。辽西地区为苹果渤海湾优势主产区,主栽品种为'富士'[6],长期以来,辽西地区'富士'苹果园施肥管理主要凭借经验,盲目投入,缺乏科学的理论依据,果园营养不平衡现象严重,苹果产量和品质日趋下降,因此,迫切需要系统开展红富士苹果叶片营养诊断研究,提高果园施肥管理水平。1992 年 Parent 和 Dafir[7]提出了 CND 叶营养诊断分析方法,而在我国 CND 法的营养诊断研究却很少见;国外对于 CND 法的研究多是基于产量,而现在苹果生产中果实品质与产量是要解决的关键问题,本研究以辽西地区"长富 2 号"苹果为研究试材,选取了 86 个有代表性的果园,对果园的产量,果实品质以及叶片中氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)的含量进行了测定分析,通过 CND 法确定了高产优质果园产量和果实品质划分的临界值(Cutoff Value)[8],将高产优质果园称为高生产水平果园,其余果园称为低生产水平果园,根据 CND 标准参比值(CND Norms)[8]进行了叶营养诊断,并对土壤中有效养分进行了丰缺状况分析,以期为辽西'红富士'苹果园的营养管理提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料与样品采集

采样时间及材料:于 2011 ~ 2013 年盛花期后 8 ~ 12 周[9-10],选取当地常规管理,有代表性的"长富 2 号"苹果园,采样果园面积均在 0.33 hm^2 以上,树龄为 12 ~ 20 年生,共计 86 个果园的叶样和土样。

采样果园分布:辽西'红富士'苹果主产区:兴城市三道沟乡;绥中县西甸子镇、李家堡乡、秋子沟乡、前所镇、大王庙乡;建昌县素珠营子乡,根据各乡镇'富士'的栽植面积,每个乡镇采 40% 比例的'富士'果园数。

采样方法: 每个果园采用对角线取样法选 5 点,每点 5 株树,每个果园共计 250 片叶样和 5 个混合土样,叶样取样部位采用肯沃西[9]取样法,取当年生新梢中部叶片,土样取样方法参照金继运等[11]的取样方法。

前处理参照仝月澳等[1]的叶样处理方法和金继运等[11]的土样处理方法。

1.2　测定项目

植物样品测定: 参照鲍士旦[12]的植株矿质营养含量测定方法,叶样消煮采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮法,氮(N)、磷(P)用连续流动分析仪(ATUOSAMPLER AA3,澳大利亚)测定,钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)用原子吸收分光光度计(WFX-120C,中国北京瑞利)测定,Ca、Mg 测定时用氧化镧作为掩蔽剂,测定在中国农业科学院农业资源与农业区划研究所国家测土施肥中心实验室。

产量测定: 每个果园选有代表性的 10 株果树,测定产量,根据每公顷株数,计算公顷产量。

果实品质的测定: 果形指数 = 果实纵径/横径,用电子游标卡尺(SYLVAC,瑞士)测定果实的纵、横径,并计算出果形指数;果实硬度采用 GY-14 型果实硬度计测定;果实可溶性固形物用手持式数显折光仪(PAL-1,日本)测定;可滴定酸用自动滴定仪(ZDJ-5,中国上海精科)测定;果实单果重(鲜重)用电子天平测定;果实着色面积采用目测法。

土壤样品测定: 参照鲍士旦[12]土壤养分测定方法对土壤中的碱解氮进行测定,参照金继运等[11]的 M3 法对速效磷、铁、锰进行测定。

1.3　数据处理

应用 Microsoft Excel 2003 和 Statistics Analysis System 9.1.3(SAS)软件进行数据统计分析。

2　结果与分析

2.1　高生产水平果园的划分

2.1.1 高产园划分

将采样园产量由高到低排序,根据公式 1-5[13-14]计算叶片营养含量参数。

$$R = 100\% - (N + P + K + \cdots\cdots) \quad (1)$$

$$G = (N \times P \times K \times \cdots\cdots \times R)^{1/(d+1)} \quad (2)$$

$$V_n = \ln(N/G),\ V_p = \ln(P/G)\cdots\cdots,\ V_R = \ln(R/G);$$
$$V_n + V_p\cdots\cdots + V_R = 0 \quad (3)$$

其中 N、P、K……为各元素在叶片中所占百分含量,R 为添加值,d 表示研究元素的个数,V_N,V_P……V_R 代表分析参数,以下用 V_x 表示。

根据计算所得分析参数,采用 Cate-Nelson[8,15]程序和公式(4)计算参数 $f_i(V_x)$。

$$f_i(V_x) = s^2V_{xn1}/s^2V_{xn2}\ (n = n1 + n2, i = n\text{-}3) \quad (4)$$

式中 n 是所有采样果园个数,$n1$ 是每次循环中产量最高的果园个数,$n2$ 是每次循环中剩余果园个数,$n = n1 + n2$。分子 s^2V_{xn1} 是 $n1$ 的参数 V_x 的方差,分母 s^2V_{xn2} 为 $n2$ 的参数 V_x 的方差。在第一次循环计算中,$n1$ 取 2 个果园,$n2 = n\text{-}n1$;以后每次循环中 $n1$ 增加一个果园,$n2$ 相应减少一个果园,直到最后剩下两个最低产的果园组成 $n2$,但始终保持 $n = n1 + n2$。

根据公式(5)计算分析参数 $F_i^C(V_x)$:

$$F_i^C(V_x) = \sum_{i=1}^{n1-1} f_i(V_x) \Big/ \sum_{i=1}^{n-3} f_i(V_x) \times 100 \quad (5)$$

式中分子表示 $n1-1$ 个分析参数 $f_i(V_x)$ 的和,分母表示所有分析参数 $f_i(V_x)$ 的和。

各矿质营养累计方差函数参数 $F_i^C(V_x)$ 与产量(Y)之间存在公式(6)[8,16]的函数关系见表 1,$F_i^C(V_x)$ 与产量之间的函数关系见图 1。

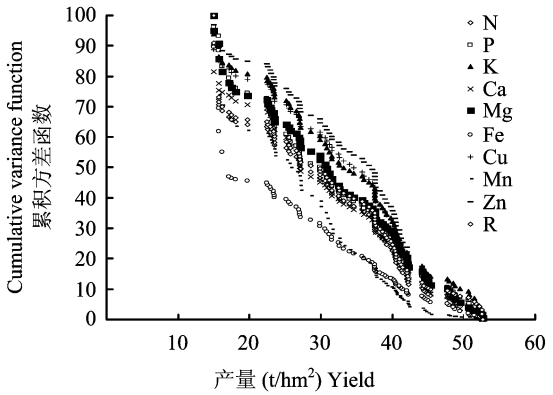

图 1　叶片矿质营养含量累积方差函数与产量之间的关系

Fig. 1　Relationship between cumulative variance function and yield

$$F_i^C(V_x) = AY^3 + BY^2 + CY + D \quad (6)$$

根据函数式 6 求两次导数可得 $\partial^2F_i^C(V_x)/\partial y^2 = 6AY + 2B = 0$,即 $Y = -B/3A$(表 1)为对应各矿质营养高产园的拐点值(Inflection Point Value),其中 $Y_N = 29.148$ t/hm², $Y_P = 60.000$ t/hm², $Y_K = 34.313$ t/hm², $Y_{Ca} = 30.714$ t/hm², $Y_{Mg} = 26.333$ t/hm², $Y_{Fe} = 44.556$ t/hm², $Y_{Cu} = 37.404$ t/hm², $Y_{Mn} = 22.359$ t/hm², $Y_{Zn} = 38.451$ t/hm², $Y_R = 32.037$

t/hm^2,在CND法的理论[8,17-18]中,选择划分高产园临界值(Cutoff Value)的原则是取拐点值中最高的并且在研究数据范围内的一个,本研究中果园产量的最高值为52.650 t/hm^2,最低值为11.550 t/hm^2,划分高产园临界值理论上应选择44.556t/hm^2,那么高产园共有17个,占总体采样园的19.77%。

表1 各矿质营养分析参数与产量之间的函数关系式

Table 1 Functions between nutrients' norms and yield

元素 Element	累积方差函数 $F_i^C(V_x)$ 与产量(Y)之间的函数式 Functions between $F_i^C(V_x)$ and yield	产量拐点(t/hm^2) Yield at inflection point
氮 N	$F_i^C(V_N)=0.0009Y^3-0.0787Y^2+0.0175Y+92.122$ ($R^2=0.9690$)	29.148
磷 P	$F_i^C(V_P)=-0.0002Y^3+0.036Y^2-4.2409Y+147.41$ ($R^2=0.9900$)	60.000
钾 K	$F_i^C(V_K)=0.0016Y^3-0.1647Y^2+2.9611Y+76.46$ ($R^2=0.9891$)	34.313
钙 Ca	$F_i^C(V_{Ca})=0.0007Y^3-0.0645Y^2-0.6472Y+103.77$ ($R^2=0.9854$)	30.714
镁 Mg	$F_i^C(V_{Mg})=0.0002Y^3-0.0158Y^2-2.1828Y+124.50$ ($R^2=0.9903$)	26.333
铁 Fe	$F_i^C(V_{Fe})=-0.0012Y^3+0.1604Y^2-8.1791Y+161.48$ ($R^2=0.9308$)	44.556
铜 Cu	$F_i^C(V_{Cu})=0.0019Y^3-0.2132Y^2+4.785Y+55.737$ ($R^2=0.9840$)	37.404
锰 Mn	$F_i^C(V_{Mn})=0.0013Y^3-0.0872Y^2-1.3802Y+118.48$ ($R^2=0.9813$)	22.359
锌 Zn	$F_i^C(V_{Zn})=0.0017Y^3-0.1961Y^2+4.3917Y+63.417$ ($R^2=0.9877$)	38.451
分析参数 Norms(R)	$F_i^C(V_R)=0.0009Y^3-0.0865Y^2+0.4171Y+88.471$ ($R^2=0.9690$)	32.037

2.1.2 优质果园划分 用SAS软件对采样园的果实品质进行主成分分析,将果实品质6个指标数量级化为1,避免因数量级差异过大造成统计误差。主成分分析选择6个主成分,贡献率分别为0.38、0.22、0.15、0.11、0.08、0.06,根据每个采样园果实品质的主成分得分计算综合得分,代表果园果实品质的优劣,得分越高的果园,果实品质越好,其中最小值为-5.928,最大值5.873,$F_i^C(V_x)$与果实品质评价综合得分值之间的函数关系见图2。

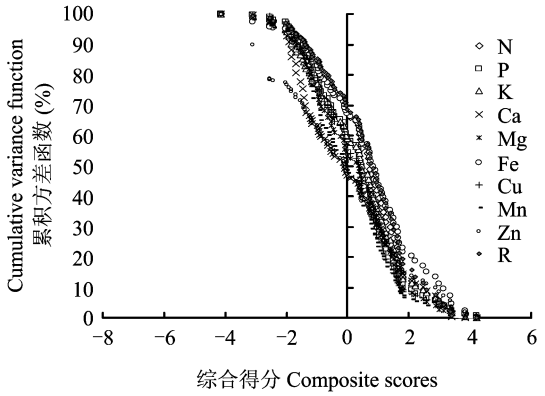

图2 叶片矿质营养含量累积方差函数与果实品质主成分综合得分的关系

Fig. 2 Relationship between cumulative variance function and composite scores of fruit quality

根据图2可以看出,叶片矿质营养含量累积方差函数参数$F_i^C(V_x)$与果实品质主成分综合的得分值(S)也符合公式(6)中的函数关系(表2)。根据CND法的理论,S=-B/3A为各矿质营养对应的品质综合得分拐点值。其中$S_N=0.574$,$S_P=0.252$,$S_K=0.292$,$S_{Ca}=-0.359$,$S_{Mg}=0.119$,$S_{Cu}=0.792$,$S_{Fe}=0.094$,$S_{Mn}=-0.151$,$S_{Zn}=-0.140$,$S_R=0.792$,根据CND法选择划分高产园临界值的理论,划分优质果园临界值理论上应选择0.792,共有优质果园38个,占总体采样园的44.18%。

根据产量确定的高产园比例占总体采样园19.77%,根据果实品质主成分综合得分确定的优质果园比例占总体采样园44.18%,同时满足高产和优质划分标准的果园仅有8个,占总体采样园的9.30%,低于CND方法中要求的高产群体比例≥12%的标准[17],产量下限定为37.500t/hm^2,降低产量划分标准,选择38.451t/hm^{2}和0.792作为划分高生产水平果园产量和品质综合得分的临界值,满足此条件的果园有13个,占总体采样园的15.12%,符合CND方法的标准。

表 2　各矿质营养分析参数与果实品质综合得分之间的函数关系式

Table 2　Functions between nutrients' norms and composite scores of fruit quality

元素 Element	累积方差函数 $F_i^C(V_x)$ 与综合得分(S)之间的函数式 Functions between $F_i^C(V_x)$ and composite scores	综合得分拐点值 Composite score at inflection point
氮 N	$F_i^C(V_N)=0.6937S^3-1.1928S^2-22.871S+63.85$ ($R^2=0.9853$)	0.574
磷 P	$F_i^C(V_P)=0.7138S^3-0.5424S^2-23.475+57.298$ ($R^2=0.9907$)	0.252
钾 K	$F_i^C(V_K)=0.606S^3-0.5308S^2-21.896S+56.897$ ($R^2=0.9923$)	0.292
钙 Ca	$F_i^C(V_{Ca})=0.3798S^3+0.409S^2-19.289S+47.717$ ($R^2=0.9852$)	-0.359
镁 Mg	$F_i^C(V_{Mg})=0.6838S^3-0.2449S^2-23.164S+53.715$ ($R^2=0.9932$)	0.119
铜 Fe	$F_i^C(V_{Fe})=0.4825S^3-1.1471S^2-19.582S+65.226$ ($R^2=0.9899$)	0.792
铁 Cu	$F_i^C(V_{Cu})=0.8465S^3-0.238S^2-25.213S+54.265$ ($R^2=0.9920$)	0.094
锰 Mn	$F_i^C(V_{Mn})=0.7565+0.3434S^2-24.191S+47.641$ ($R^2=0.9922$)	-0.151
锌 Zn	$F_i^C(V_{Zn})=0.3092S^3+0.1295S^2-16.569S+46.149$ ($R^2=0.9935$)	-0.140
分析参数 Norms(R)	$F_i^C(V_R)=0.574S^3-1.3632S^2-21.358S+65.994$ ($R^2=0.9876$)	0.792

2.2　低产果园叶片营养诊断

以高生产水平果园的分析参数 V_x^* 的平均值和分析参数 V_x^* 的标准差 SD_x^* 作为标准参比值(CND norms)(见公式 7 和 8[13-14],其中 m 为优质高产优质果园的个数),对余下 73 个低生产水平果园进行营养诊断,计算 CND 营养诊断指数 I_x(公式 9[13]),$I_x<0$ 表示该元素含量缺乏,$I_x>0$ 表示该元素含量充足;I_x 越接近 0,表示该元素含量越接近适宜值。公式如下:

$$V_x^*=(V_{x1}+V_{x2}+\cdots\cdots+V_{xm})/m \quad (7)$$

$$SD_x^*=SD(V_{x1},V_{x2},\cdots\cdots V_x) \quad (8)$$

$$I_x=(V_x-V_x^*)/SD_x^* \quad (9)$$

本次研究中各营养元素标准参比值为:$V_N^*=2.776$,$V_P^*=0.212$,$V_K^*=1.884$,$V_{Ca}^*=2.042$,$V_{Mg}^*=0.814$,$V_{Fe}^*=-2.470$,$V_{Cu}^*=-5.090$,$V_{Mn}^*=-2.631$,$V_{Zn}^*=-3.867$,$V_R^*=6.330$;$SD_N^*=0.173$,$SD_P^*=0.144$,$SD_K^*=0.155$,$SD_{Ca}^*=0.266$,$SD_{Mg}^*=0.307$,$SD_{Fe}^*=0.189$,$SD_{Cu}^*=0.474$,$SD_{Mn}^*=0.467$,$SD_{Zn}^*=0.325$,$SD_R^*=0.134$。

辽西地区整体低生产水平'富士'果园的各营养元素的诊断指数为:$I_N=-0.073$,$I_P=-0.125$,$I_K=0.008$,$I_{Ca}=-0.040$,$I_{Mg}=0.281$,$I_{Fe}=-0.295$,$I_{Cu}=0.035$,$I_{Mn}=-0.179$,$I_{Zn}=0.201$,$I_R=0.088$,根据以上营养诊断结果得到辽西低生产水平'富士'苹果园的需肥顺序为 Fe > Mn > P > N > Ca > K > Cu > Zn > Mg。

2.3　果园土壤有效养分分析

根据叶营养诊断结果,针对缺乏元素进行测定,辽西'富士'果园土壤中碱解氮为 23.80-162.18 mg/kg(平均 94.00 mg/kg)、速效磷 0.26-132.18 mg/kg(平均 32.00 mg/kg)、速效铁 7.83 ~ 27.73 mg/kg(平均 17.16 mg/kg)、速效锰 2.69-32.73 mg/kg(平均 10.89 mg/kg),参照辽宁省土壤养分分级标准对以上测定养分进行分级[19],分布见图 3。果园土壤 4 种养分缺乏水平的比例分别为:43.48%、52.17%、0.00% 和 9.30%,土壤中碱解氮和速效磷在缺乏水平的果园比例占总体采样园的一半左右,整体表现含量缺乏,速效铁和速效锰的含量基本在中等水平以上,整体表现含量中等。

3　讨论

叶片分析是营养诊断的关键,决定着诊断结果的可靠性和对生产实践指导的科学性。CVA(Critical Value Approach)[20]、CNR(Critical Nutrient Range)[20]、DOP(Deviation from Optimum Percentage)[21]等方法虽然计算比较简便,但忽略了元素间的互作效应,确诊率较低,仅有 66.00% - 80.00%[22-23]。Beaufils[24] 在 1973 年提出的 DRIS[25-27](Diagnosis and Recommendation Integrated System)法,Jones C A 在 1981 年提出的 M-DRIS 法[28],以及 Beverly R B 在 1987 年提出的 L-DRIS 法[29],是一种二元分析方法,虽然包含了分析元素两两之间的互作效应,提高了确诊率(70% ~ 90%)[23],但当分析元素数量较少时,确诊率又会降低[30],使这种方法的确诊率稳定性较低。CND 法[7]是 Parent 和 Dafir 于 1992 年提出的,是一种多元分析法[31-32],体现了元素间的互作效应,提高了

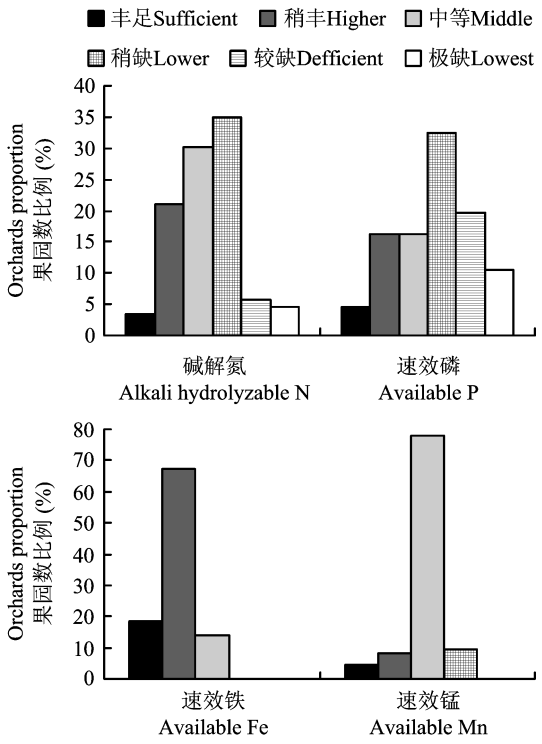

图3 辽西'富士'苹果园土壤有效养分分级结果分布

Fig. 3 Results of 'Fuji' apple orchards soil available nutrient classification in west Liaoning Province

确诊率的稳定性,Parent 等[31]通过对 CND 法马铃薯营养诊断的验证,得出 CND 法确诊率在 87.50% 以上。此外,以往营养诊断高产园的确定主要凭借经验划分,避免不了人为的偶然性因素,CND 法中高产园是通过营养累积方差函数与产量之间建立的三次函数关系求导得到的[8],更加注重采样果园产量的代表性,比凭借经验确定高产果园更加合理。

果树营养诊断需要同时考虑果实品质与产量。常用的果树营养诊断大多以产量作为目标,很难将产量和果实品质同时与营养诊断建立关系。本研究采用的 CND 法,引入了营养与品质的关系,使叶片分析同时考虑了产量和品质,因而分析结果更具生产指导意义。由于品种、地域、立地条件的差异,果园的产量、果实品质、矿质营养含量也有较大差异,根据全国性的标准数据进行诊断,误差就会增加,确诊率也会随之下降,本研究是针对辽西地区'富士'苹果营养状况开展的研究,采用本区域的标准参比值针对性更强,误差的影响也较小,所以在本研究中采用区域性的标准参比值更加合理。

辽西'富士'低产果园的需肥顺序为 Fe > Mn > P > N > Ca > K > Cu > Zn > Mg,表现为缺 N、P、Fe、Mn。N、P 元素叶营养诊断结果与土壤中碱解氮、速效磷的含量状况一致,所以 N、P 缺乏可能由于施肥不到位或土壤保肥能力弱而致,因此 N、P 肥施用应采用少量多次的原则,合理控制施用时间,避开雨量较大季节;Fe、Mn 叶营养诊断结果与土壤中的含量状况不一致,土壤中 Fe、Mn 含量基本在中等水平以上,说明 Fe、Mn 元素的缺乏可能是辽西地区的灌溉条件较差,水肥得不到合理的配合使用,影响了树体营养的吸收,造成了营养缺乏。在今后的果园管理中应对水肥进行科学管理,通过叶面喷施适当补充缺乏的微量元素。与王富林等[33]对渤海湾'红富士'苹果主产区的调查结果(Ca > K > Fe > N > Zn > Mg > P > Mn > Cu)相比,同样表现出了缺 Fe、不缺 Mg,本研究中 Ca 元素含量基本适中,在王富林等的研究中 Ca 元素含量缺乏最突出,P、K、Mn、Zn 元素含量表现差异也较大。

CND 法可以结合产量和品质对果园的营养状况进行研究,在国外的研究中确诊率也得到了认可,但在国内并未对其确诊率进行研究,应针对其诊断结果进行试验性研究,确定其确诊率,提高其在我国果树营养诊断中使用的可靠性,使其能够更好地为生产实践服务。

参考文献:

[1] 仝月澳, 周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
Tong Y A, Zhou H J. Fruits nutrient diagnostic[M]. Beijing: Agriculture Press, 1982.

[2] 许敏. 陕西省渭北红富士苹果叶片营养诊断与评价研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2009.
Xu M. Leaf nutrition diagnosis of Fuji Apple in Weibei Region Shaanxi Province[D]. Yangling, Shaanxi: Ms Thesis, Northwest A&F University, 2009.

[3] 邹秀华. 营养诊断技术在胶东红富士苹果上的应用研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学硕士学位论文,2005.
Zou X H. Application and study on nutritional diagnosis technique of 'Red Fuji' Apple in Jiaodong area[D]. Tai'an Shandong: Ms Thesis, Shandong Agricultural University, 2005.

[4] 刘红霞, 张会民, 郭大勇, 等. 豫西地区红富士苹果叶片营养诊断[J]. 植物营养与肥料学报,2009, 15(2): 457-462.
Liu H X, Zhang H M, Guo D Y *et al*. Foliar nutrition diagnosis of red Fuji apple in western Henan province[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(2): 457-462.

[5] 李海山, 赵同生, 张新生, 等. 燕山山区苹果叶片矿质营养标准范围的确定[J]. 河北农业科学, 2011, 15(5): 17-19.
Li H S, Zhao T S, Zhang X S *et al*. Determination of the standard concentrations for mineral nutrition in the leaves of apple in Yanshan Mountainous Areas[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2011,15(5): 17-19.

[6] 杨振锋, 丛佩华, 李壮. 辽西地区富士苹果质量调查分析

[J]. 中国果树, 2011(5): 64-66.
Yang Z F, Cong P H, Li Z. Investigation and analysis of 'Fuji' apple quality in West Liaoning Province[J]. China Fruits, 2011(5): 64-66.

[7] Parent L E, Dafir M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1992, 117(2): 239-242.

[8] Khiari L, Parent L É, Tremblay N. Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops [J]. Agronomy Journal, 2001, 93(4): 802-808.

[9] Kenworthy A L. Fruit, nut, and plantation crops deciduous and evergreen: A Guide for collecting foliar samples for nutrient element analysis[R]. Horticultural Report, 1969.

[10] 李港丽, 苏润宇, 沈隽, 等. 建立果树标准叶样的研究[J]. 园艺学报, 1985, 12(4): 217-222.
Li G L, Su R Y, Shen J *et al.* Studies on the preparation of standard reference material of orchard leaves [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1985, 12(4): 217-222.

[11] 金继运, 白由路, 杨俐萍, 等. 高效土壤养分测试技术与设备[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
Jin J Y, Bai Y L, Yang L P *et al.* Efficient soil testing technology and equipments [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agrochemical analysis(Third Edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[13] Beauregard S L, Côté B, Houle D. Application of compositional nutrient diagnosis (CND) to the dendrochemistry of three hardwoods in three geological regions of southern Quebec[J]. Dendrochronologia, 2010, 28(1): 23-36.

[14] Huang H, Hu C X, Tan Q *et al.* Effects of Fe-EDDHA application on iron chlorosis of citrus trees and comparison of evaluations on nutrient balance with three approaches [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 146: 137-142.

[15] Nelson L A, Anderson R L. Partitioning of soil test-crop response probability [A]. Stelly M. Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results[M]. Madison, WI: American Society of Agronomy, 1977. 19-38.

[16] Ndabamenye T, Van Asten P J A, Blomme G *et al.* Nutrient imbalance and yield limiting factors of low input East African highland banana (Musa spp. AAA-EA) cropping systems[J]. Field Crops Research, 2013, 147: 68-78.

[17] García-Hernández J L, Valdez-Cepeda R D, Avila-Serrano N Y *et al.* Preliminary compositional nutrient diagnosis norms for cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] grown on desert calcareous soil[J]. Plant and Soil, 2005, 271(1-2): 297-307.

[18] García-Hernández J L, Valdez-Cepeda R D, Murillo-Amador B *et al.* Preliminary compositional nutrient diagnosis norms in *Aloe vera* L. grown on calcareous soil in an arid environment[J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 58(1): 244-252.

[19] 徐志强. 辽宁省耕地土壤肥力状况及变化趋势[J]. 辽宁农业科学, 2012(2): 29-33.
Xu Z Q. Farmland fertility status and trends of Liaoning Province [J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2012(2): 29-33.

[20] Lucena J J. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants a critical review [C]. III International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Trees 448. 1996: 179-192.

[21] Montañés L, Heras L, Abadía J *et al.* Plant analysis interpretation based on a new index: deviation from optimum percentage (DOP) [J]. Journal of Plant Nutrition. 1993, 16(7): 1289-1308.

[22] Sumner M E. Interpretation of foliar analyses for diagnostic purposes[J]. Agronomy Journal, 1979, 71(2): 343-348.

[23] 张大弟. 综合诊断施肥法—DRIS[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 1984, 2(1): 20, 40, 52, 85-94.
Zhang D D. Diagnosis and recommendation integrated system—DRIS[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Agricultural Science), 1984, 2(1): 20, 40, 52, 85-94.

[24] Beaufils E R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)[M]. Natal, South Africa: University of Natal, 1973.

[25] Silveira C P, Nachtigall G R, Monteiro F A. Testing and validation of methods for the diagnosis and recomendation integrated system for Signal grass[J]. Scientia Agricola, 2005, 62(6): 520-527

[26] Partelli F L, Vieira H D, de Carvalho V B *et al.* Diagnosis and recommendation integrated system norms, sufficiency range, and nutritional evaluation of Arabian coffee in two sampling periods [J]. Journal of Plant Nutrition, 2007, 30(10): 1651-1667.

[27] Elferjani R, DesRochers A, Tremblay F. DRIS - based fertilization efficiency of young hybrid poplar plantations in the boreal region of Canada[J]. New Forests, 2012, (10): 1-22.

[28] Jones C A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1981, 12(8): 785-794.

[29] Beverly R B. Fertilizer use efficiency: Modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of 'valencia' oranges[J]. Journal of Plant Nutrition, 1987, 10(9-16): 1401-1408.

[30] 李健, 李美桂. DRIS 理论缺陷与方法重建[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1000-1007.
Li J, Li M G. The theoretical defects in DRIS and the restruction of a new approach[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1000-1007.

[31] Parent L E, Cambouris A N, Muhawenimana A. Multivariate diagnosis of nutrient imbalance in potato crops[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1432-1438.

[32] Magallanes-Quintanar R, Valdez-Cepeda R D, Blanco-Macías F *et al.* Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*)[J]. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 2004, 6(1): 78-89.

[33] 王富林, 门永阁, 葛顺峰, 等. 两大优势产区'红富士'苹果园土壤和叶片营养诊断研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(14): 2970-2978.
Wang F L, Men Y G, Ge S F *et al.* Research on soil and leaf nutrient diagnosis of 'Red Fuji' apple orchard in two-dominant producing areas[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(14): 2970-2978.