

基于诊断施肥综合法的烟台红富士苹果叶片营养诊断研究

吴天昊, 何书朋, 韩熙睿, 杨守军, 俞红, 王承国*

(中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670)

摘要: 为解决烟台红富士苹果园施肥方法不合理造成果树营养不平衡及果实产量增长慢、品质不均一的问题, 推进果园合理平衡施肥, 对苹果叶片进行营养诊断。基于诊断施肥综合法 (DRIS) 分析叶片 N、P、K 三元素的含量, 通过 DRIS 图解法和 DRIS 指数法得出各元素的需肥顺序和营养不平衡指数 (NII)。结果表明, 烟台红富士苹果高产园需肥顺序为 $N>K>P$, NII 平均值为 21.93; 低产园需肥顺序为 $K>P>N$, NII 平均值为 57.28。低产园存在严重的叶片营养不平衡问题。DRIS 临界含量分级标准显示, N、P、K 三元素平衡范围分别是 23.39 ~ 26.81、2.13 ~ 2.37、8.43 ~ 12.26 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。果园需肥顺序和 DRIS 临界含量分级标准可作为烟台红富士苹果平衡施肥的依据。

关键词: DRIS; 叶片; 营养诊断; 红富士苹果

苹果是世界四大水果之一, 具有营养丰富、易于栽培管理、生产效益高等特点, 在世界各地广泛栽种^[1]。中国苹果生产量和消费量均为世界第一, 苹果产业在山东、河南、陕西等省许多地区的经济产业中占有重要地位^[2]。从 1871 年起至今, 烟台市已有 151 年苹果栽培历史, 现已发展为山东省苹果产区的中心。根据《山东统计年鉴 2021》^[3], 2020 年, 烟台市各地区苹果总产量达 588.97 万 t, 占山东省苹果总产量的 61.76%, 连续 13 年蝉联全国地级市首位; 苹果种植园总面积达 13.34 万 hm^2 , 占山东省苹果种植面积的 54.14%。烟台苹果产业集中化、专业化程度较高, 商品化发展较快, 具有明显的竞争优势和发展潜力^[4]。

近年来, 烟台苹果产业发展受果园管理粗放、施肥模式单一、肥料投入不合理^[5]等制约, 出现苹果产量增长缓慢、品质下降等问题^[6], 影响烟台苹果的经济效益。陈昕楠等^[7]研究表明, 烟台市苹果园土壤有机质含量普遍偏低, 且速效养分含量不平衡; 陈毅凡等^[8]调查发现, 烟台市苹果园肥料投入不合理, 有机肥投入不足且化肥投入过量; 国艳春

等^[9]调查苹果园土壤基本肥力特征, 发现化肥的大量不合理施用与浪费是造成果园土壤酸化、导致减产的重要因素。在生产中, 根据苹果的实际生长状况, 选择适宜的肥料种类和施用比例, 可以调节土壤环境、改善苹果营养状况, 实现苹果的高质量培育^[10]。苹果叶片营养含量可以反映果实的营养状况与果树的营养平衡情况, 苹果合理施肥应基于叶片养分含量进行^[11]。叶片营养诊断可以分析叶片营养状况, 评估苹果园肥料需求顺序, 指导肥料投入量和投入比例, 减少肥料浪费, 实现苹果产量与品质进一步提升^[12]。目前, 关于烟台苹果叶片营养诊断的研究较少。本文通过叶片营养诊断, 对烟台红富士苹果叶片营养平衡状况进行研究, 为烟台红富士苹果园实现平衡施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 取样地概况

本试验取样于烟台栖霞市。栖霞市苹果产业具有果园总面积大、单位面积产量高、产量增长速度快、产品竞争力高的特点, 是烟台苹果产业的核心; 栖霞市主要栽培苹果品种为红富士, 平均树龄 10 年左右; 栖霞市地表丘陵所占比例较大, 苹果园以山坡梯田为主, 土壤以棕壤为主, 栖霞市年平均气温和夏季平均气温相对同纬度其他地区较低, 年平均降水量 620 ~ 730 mm, 适于苹果生长发育^[13]。

1.2 样品的采集与分析

2021 年 6 月下旬至 7 月上旬, 选取栖霞市红富

收稿日期: 2022-01-23; 录用日期: 2022-04-02

基金项目: 国家级大学生创新训练计划项目 (202110019088); 中国农业大学 URP 项目 (U2021052)。

作者简介: 吴天昊 (2001-), 本科, 主要从事设施农业科学与工程研究。E-mail: 1970387132@qq.com。

通讯作者: 王承国, E-mail: wangcg@126.com。

士苹果园 20 个, 调查每个果园的单株果树平均产量, 并采集树冠中部外侧的健康大叶片作为检测样本。单株样本采集于树冠东、西、南、北 4 个方向, 每株采集 9 ~ 12 片。每个果园选取长势基本一致的果树 10 棵, 确保每个果园混合样本中叶片总数不少于 100 片。样本经清水冲洗、蒸馏水漂洗后, 用吸水纸擦干, 装入牛皮纸信封, 在烘箱中 90℃ 烘干 20 min 杀酶, 75℃ 持续烘干 24 h 至恒重。样本冷却后研磨, 全部过 0.25 mm 筛, 密封保存。苹果叶片样本经过浓 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后, 通过凯氏定氮法测定全氮 (N) 含量、钒钼黄比色法测定全磷 (P) 含量、火焰光度法测定全钾 (K) 含量。

1.3 营养诊断方法

诊断施肥综合法 (DRIS) 是由 Beaufils^[14] 提出的一种基于营养平衡原理的诊断方法, 可以对植物体多种营养元素的丰缺情况做出诊断, 并排列植物对营养元素的需求次序, 科学指导施肥。DRIS 的主要诊断依据为 DRIS 诊断图 and DRIS 指数。DRIS 诊断结果不受样品采集时间、植物种类、样品采集部位的影响, 且兼顾植物体多种营养元素的协调关系。DRIS 在国外已有较多成功应用于果树的实例, 如甘蔗^[15]、杏^[16]、香蕉^[17]等; 国内有使用 DRIS 对蜜柚^[18]、杜果^[19]等果树进行营养诊断的研究。

1.3.1 DRIS 图解法

DRIS 图解法适用于诊断 3 种元素的分布关系。DRIS 图解法的 2 圆 3 轴图有 18 个区域, 内圆的范围代表平衡区, 内圆到外圆的范围代表轻度不平衡区, 外圆以外的范围代表重度不平衡区, 分别以“↑”和“↓”、“↗”和“↘”、“→”代表元素含量过剩、缺乏、偏高、偏低、平衡 5 种状态。

1.3.2 DRIS 指数法

DRIS 指数代表某一营养元素偏离适宜值的程度, 即该元素的丰缺程度。DRIS 指数为负值, 说明该元素含量相对缺乏, 其绝对值越大表示缺乏程度越大, 应适当提升对应元素的施肥水平; DRIS 指数为零或接近零, 说明该元素含量适中, 且处于相对平衡状态; DRIS 指数为正, 说明该元素含量充足甚至过剩。若待诊断元素有 A、B、C、…、X, 共 n 个, 则 DRIS 指数计算公式如式下:

$$f(A/B) + f(A/C) + \dots + f(A/X) - \\ A \text{ 指数: } I_A = \frac{f(B/A) - f(C/A) \dots - f(X/A)}{n-1} \quad (1)$$

式 (1) 中,

若 $A/B < a/b$, 则

$$f(A/B) = \left(1 - \frac{a/b}{A/B}\right) \times \frac{1000}{CV} \quad (2)$$

若 $A/B > a/b$, 则

$$f(A/B) = \left(\frac{A/B}{a/b} - 1\right) \times \frac{1000}{CV} \quad (3)$$

式 (2) 和式 (3) 中, 函数 $f(A/B)$ 描述 A/B 偏离 a/b 的程度; A、B 分别为任意 2 个待诊断元素的实测值; a/b 为相应元素含量比的最适宜值, 通常以两元素在高产组中比例的平均值代表; CV 为最适宜比例 a/b 的变异系数, 以百分比表示。

1.4 数据处理

数据经整理、核验后, 使用 Excel 2019 进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 苹果产量分布状况

依据各苹果园的平均单株产量, 制作频率分布图 (图 1)。烟台市红富士苹果产量变化范围为 46 ~ 90 $\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$, 平均产量为 68 $\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$, 整体服从正态分布。

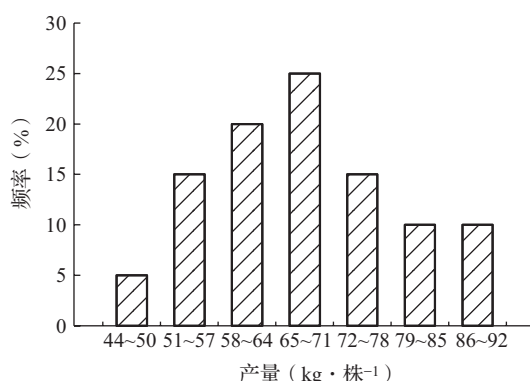


图 1 烟台红富士苹果园产量频率分布

根据图 1, 将不同产量水平的果园分为高产组和低产组。以产量低于或等于 64 $\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 的苹果园为低产组, 占取样果园总数的 40%; 产量高于 64 $\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 的果园为高产组, 占总数的 60%, 分组结果如表 1 所示。

表 1 不同产量水平红富士苹果园分类结果

组别	分类标准	果园编号
高产组	$> 64 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$	2、4 ~ 6、10、13 ~ 18、20
低产组	$\leq 64 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$	1、3、7 ~ 9、11、12、19

2.2 叶片营养元素含量状况

测定各果园叶片 N、P、K 的含量, 按高产组和低产组分别统计这些元素含量的均值、标准差和变异系数, 结果如表 2 所示。由表 2 可知, 高产组苹果园 N、P、K 的平均含量分别为 25.10、2.25、10.55 g · kg⁻¹, 低产组 N、

P、K 的平均含量分别为 24.64、1.87、8.99 g · kg⁻¹。苹果叶片中各营养元素含量和比例适宜时, 苹果生长情况最好。以高产组叶片各营养元素平均含量代表适宜值, 烟台红富士苹果叶片 N、P、K 最适比例为 1 : 0.09 : 0.42。

表 2 不同产量水平红富士苹果叶片营养元素含量

元素	高产组			低产组		
	均值 (g · kg ⁻¹)	标准差 (g · kg ⁻¹)	变异系数 (%)	均值 (g · kg ⁻¹)	标准差 (g · kg ⁻¹)	变异系数 (%)
N	25.10	2.65	10.58	24.46	3.71	15.15
P	2.25	0.18	7.86	1.87	0.29	15.58
K	10.55	2.57	24.36	8.99	2.05	22.80

2.3 叶片营养诊断

2.3.1 叶片 DRIS 重要参数确定

DRIS 参数由 2 个元素的含量比、含量比的倒数、含量积构成。以 N 和 P 两元素为例, DRIS 参数为 N/P、P/N、PN。2 个元素的 DRIS 参数中, 选

取高产组和低产组差异最大的 DRIS 参数作为 DRIS 重要参数。分别计算低产组和高产组的 DRIS 参数, 并统计这些值的均值、标准差、变异系数, 求出低产组和高产组 DRIS 参数的方差比, 结果如表 3 所示。

表 3 不同产量水平红富士苹果叶片 DRIS 参数

DRIS 参数	高产组			低产组			方差比
	均值	标准差	变异系数 (%)	均值	标准差	变异系数 (%)	
N/P	11.24	1.55	13.81	13.36	2.74	20.53	3.21
N/K	2.50	0.64	25.71	2.81	0.66	23.55	1.06
P/K	0.22	0.05	20.92	0.22	0.06	25.67	1.43
P/N	0.09	0.01	12.67	0.08	0.02	25.66	3.08
K/N	0.42	0.11	25.05	0.37	0.08	21.11	0.54
K/P	4.69	1.06	22.64	4.90	1.37	27.84	1.65
NP	56.42	7.67	13.59	54.64	8.94	19.59	1.36
NK	256.03	76.41	28.83	222.13	67.10	30.21	0.77
PK	23.82	6.56	27.54	16.83	4.48	26.64	0.47

根据表 3 可知, 每 2 个元素相关的 DRIS 参数里, 低产组和高产组 N/P、N/K、K/P 的方差比相较于其他 DRIS 参数大, 即差异更大。选择 N/P、N/K、K/P 作为 DRIS 重要参数。

2.3.2 叶片 DRIS 图解法营养诊断

DRIS 诊断图由 2 个同心圆和 3 条过圆心、两两夹角为 60°的坐标轴构成。以高产组 DRIS 重要参数 N/P、N/K、K/P 的均值为圆心, 分别是 11.24、2.50、4.69; 3 个重要参数对应标准差的 2/3 为内圆半径, 分别是 1.03、0.43、0.71; 3 个重要参数对

应标准差的 4/3 为外圆半径, 分别是 2.07、0.85、1.41, 结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 以 DRIS 的重要参数 N/P 为例, 当 N/P 的值大于 13.31 时, 表现为叶片 N 元素“↑”, P 元素“↓”; 当 N/P 的值为 12.27 ~ 13.31 时, 表现为叶片 N 元素“↗”, P 元素“↘”; 当 N/P 的值为 10.21 ~ 12.27 时, 表现为叶片 N、P 两元素“→”; 当 N/P 的值为 9.17 ~ 10.21 时, 表现为叶片 N 元素“↙”, P 元素“↗”; 当 N/P 的值大于 9.17 时, 表现为叶片 N 元素“↓”, P 元素

“↑”。其他 2 个重要参数分析方法与 N/P 相同。

根据图 2 可知，对 DRIS 重要参数进行分析，综合 N、P、K 的结果，判断叶片元素的平衡情况。若所有元素均表现为“→”，则果园达到营养平衡；若 3 个元素中任一元素表现为两个“↑”或“↓”，则果园营养重度失衡；其他情况下，果园营养轻度失衡。以高产组中 2 号果园为例，N/P 的值为 12.48，表现为 N 元素“↗”，P 元素“↘”；N/K 的值为 1.84，表现为 N 元素“↘”，K 元素“↗”；K/P 的值为 6.79，表现为 P 元素“↓”，K 元素“↑”。整体来看，2 号果园营养轻度失衡，需肥顺序为 P>N>K，平衡施肥应提高 P 元素占比。通过同样方法，对其他果园的叶片营养分布情况进行分析，结果如表 4 所示。

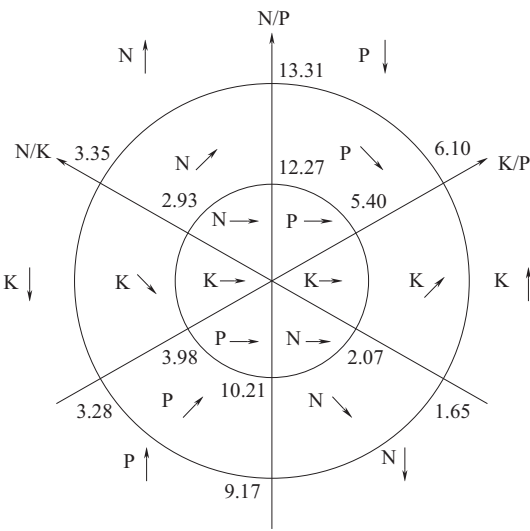


图 2 红富士苹果叶片 DRIS 诊断图

表 4 不同产量水平红富士苹果叶片 DRIS 图解法诊断结果

组别	编号	DRIS 重要参数			DRIS 图解法分析			需肥顺序
		N/P	N/K	K/P	N	P	K	
高产组	2	12.48	1.84	6.79	↗↘	↘↓	↗↑	P>N>K
	4	9.67	2.10	4.61	↘→	↗→	→→	N>K>P
	5	10.88	1.66	6.54	→↘	→↓	↑↗	P>N>K
	6	11.15	2.35	4.76	→→	→→	→→	N=P=K
	10	9.51	2.22	4.28	↘→	↗→	→→	N>K>P
	13	12.18	2.56	4.76	→→	→→	→→	P=K=N
	14	9.31	1.78	5.32	↘↘	↗→	↗→	N>K=P
	15	15.05	3.69	4.08	↑↑	↓→	↓→	K=P>N
	16	11.51	2.90	3.98	→→	→→	→→	K=P=N
	17	11.07	2.57	4.31	→→	→→	→→	K=N=P
	18	10.83	3.44	3.15	→↑	→↑	↓↓	K>N=P
	20	11.20	2.91	3.86	→→	→↗	→↘	K>N>P
低产组	1	11.63	2.65	4.39	→→	→→	→→	K=P=N
	3	16.60	2.92	5.69	↑→	↓↘	→↗	P>K>N
	7	14.22	2.70	5.26	↑→	↓↘	→↗	P>K>N
	8	15.22	1.99	7.64	↑↘	↓↓	↗↑	P>N>K
	9	11.56	2.33	4.96	→→	→→	→→	P=K=N
	11	8.19	2.53	3.32	↓→	↑↗	→↘	N>P>K
	12	15.49	4.19	3.70	↑↑	↓↗	↓↘	K>P>N
	19	13.96	3.29	4.35	↑↗	↓→	↘→	P>K>N

由表 4 可知，在高产组中，4 个果园达到营养平衡，分别是 6、13、16 和 17 号；5 个果园营养轻度失衡，其中 2 号果园 P 元素含量偏低，20 号果园 K 元素含量偏低，4、10 和 14 号果园 N 元素含

量偏低；3 个果园营养重度失衡，其中 5 和 15 号 P 元素缺乏、18 号果园 K 元素缺乏。在低产组中，2 个果园达到营养平衡，分别是 1 和 9 号；其他 6 个果园营养严重失衡，其中 11 号果园 N 元素缺乏，

12号果园K元素缺乏,另外4个果园均为P元素缺乏。高产组果园中有33.33%达到营养平衡,高于低产组(25%);高产组果园中有41.67%营养轻度失衡,低产组中没有果园营养轻度失衡;高产组果园中有25%营养重度失衡,远低于低产组(75%)。

2.3.3 叶片DRIS指数法营养诊断

根据选择的DRIS重要参数N/P、N/K、K/P,确定DRIS指数计算公式分别为:

$$\text{N指数: } I_N = \frac{f(N/P) + f(N/K)}{2} \quad (4)$$

$$\text{P指数: } I_P = \frac{-f(N/P) - f(K/P)}{2} \quad (5)$$

$$\text{K指数: } I_K = \frac{-f(N/K) + f(K/P)}{2} \quad (6)$$

NII是 I_N 、 I_P 、 I_K 绝对值的和,代表叶片营养偏离最适宜比例的情况。NII的值越小说明营养分布越均衡。分别计算各果园 I_N 、 I_P 、 I_K 、NII的值、各指标在高产组和低产组中的均值,并判断需肥顺序,结果如表5所示。

表5 不同产量水平红富士苹果叶片DRIS指数法诊断结果

组别	编号	$f(N/P)$	$f(N/K)$	$f(K/P)$	DRIS指数			需肥顺序	NII
					I_N	I_P	I_K		
高产组	2	7.99	-14.03	19.72	-3.02	-13.86	16.88	P>N>K	33.76
	4	-11.73	-7.45	-0.83	-9.59	6.28	3.31	N>K>P	19.18
	5	-2.36	-19.59	17.41	-10.98	-7.52	18.50	N>P>K	37.00
	6	-0.56	-2.58	0.57	-1.57	0.00	1.57	N>P>K	3.14
	10	-13.11	-4.83	-4.30	-8.97	8.71	0.26	N>K>P	17.94
	13	6.09	0.90	0.64	3.49	-3.37	-0.12	P>K>N	6.98
	14	-15.03	-15.72	-4.49	-15.38	9.76	5.62	N>K>P	30.76
	15	24.54	18.49	-6.67	21.52	-8.94	-12.58	K>P>N	43.04
	16	1.77	6.16	-8.00	3.96	3.11	-7.07	K>P>N	14.14
	17	-1.08	1.04	-3.90	-0.02	2.49	-2.47	K>N>P	4.98
	18	-2.27	14.62	-21.70	5.95	12.21	-18.16	K>N>P	36.32
	20	-0.22	6.30	-0.61	3.04	4.92	-7.96	K>N>P	15.92
	均值	-0.54	-1.39	-1.76	-0.96	1.15	-0.19	N>K>P	21.93
低产组	1	2.48	22.57	-3.04	12.53	0.28	-12.8	K>P>N	25.61
	3	34.55	37.75	9.43	36.15	-2.99	-14.16	K>P>N	72.29
	7	19.21	25.63	5.38	22.42	-12.30	-10.12	P>K>N	44.84
	8	25.64	-16.46	27.78	4.59	-26.71	22.12	P>N>K	53.21
	9	2.05	4.53	2.55	3.29	-2.30	-0.99	P>K>N	6.57
	11	-27.00	15.98	-19.91	-5.51	23.46	-17.94	K>N>P	46.91
	12	27.40	109.42	-11.79	68.41	-7.80	-60.61	K>P>N	136.82
	19	17.50	54.26	-3.47	35.88	-7.02	-28.86	K>P>N	71.76
	均值	12.73	31.71	0.86	22.22	-6.80	-15.42	K>P>N	57.28

由表5可知,高产组的NII值范围是3.14~43.04,均值为21.93;低产组的NII值范围是6.57~136.82,均值为57.28。高产组整体上需肥顺序为N>K>P,低产组整体上需肥顺序为K>P>N。根据表4和表5可知,在使用两种方法的诊断结果中,有7个果园的需肥顺序保持一致,分别是高产组2、4、10、20号和

低产组7、8、12号;有4个果园的需肥顺序略有差别,分别是高产组5号和低产组3、11、19号;其他9个果园,表4DRIS图解法诊断结果中需肥顺序出现“=”的,在表5DRIS指数法中求出更具体的结果。

根据表5,分别统计 I_N 、 I_P 、 I_K 为负值的果园在高产组和低产组中的占比,结果如图3所示。

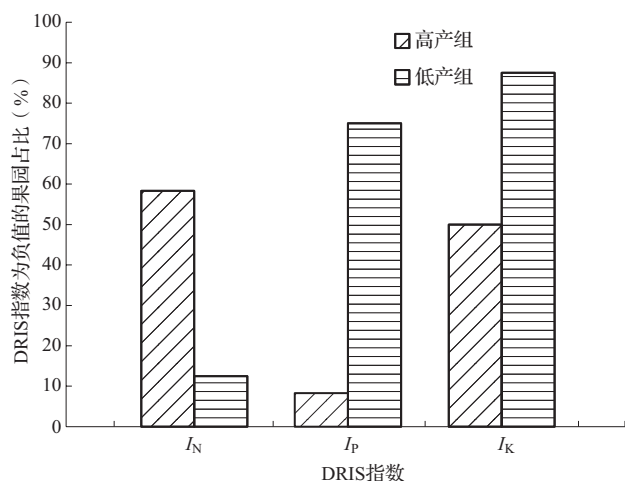


图3 不同产量水平果园 DRIS 指数为负值的果园占比

由图3可知, 高产组中, I_N 、 I_P 、 I_K 为负值的果园占比分别为 58.33%、8.33%、50%, 即高产组

中 58.33% 需要补充 N 元素、8.33% 需要补充 P 元素、50% 需要补充 K 元素; 低产组中, I_N 、 I_P 、 I_K 为负值的果园占比分别为 12.5%、75%、87.5%, 即低产组中 12.5% 需要补充 N 元素、75% 需要补充 P 元素、87.5% 需要补充 K 元素。

2.4 叶片营养临界含量分级

以高产组各元素含量的均值为适宜值, 制定烟台红富士苹果叶片营养元素 DRIS 临界含量分级标准。根据叶片营养元素含量相对适宜值的偏离程度, 将分级标准划分为缺乏、偏低、平衡、偏高、过剩 5 个范围, 偏离程度不超过 2/3 标准差, 叶片营养元素含量处于平衡范围; 偏离程度在 2/3 ~ 4/3 标准差, 叶片营养元素含量处于偏高或偏低范围; 偏离程度超过 4/3 标准差, 叶片营养元素含量处于过剩或缺乏范围, 结果如表 6 所示。

表6 烟台红富士苹果叶片营养元素 DRIS 临界含量分级标准

(g · kg⁻¹)

元素	缺乏	偏低	平衡	偏高	过剩
N	<21.69	21.69 ~ 23.39	23.39 ~ 26.81	26.81 ~ 28.51	≥ 28.51
P	<2.01	2.01 ~ 2.13	2.13 ~ 2.37	2.37 ~ 2.49	≥ 2.49
K	<7.12	7.12 ~ 8.43	8.43 ~ 12.26	12.26 ~ 13.98	≥ 13.98

由表6可知, 烟台红富士苹果叶片 N、P、K 含量的平衡范围分别为 23.39 ~ 26.81、2.13 ~ 2.37、8.43 ~ 12.26 g · kg⁻¹。以低产组 19 号果园为例, N、P、K 元素含量分别为 21.04、1.51、6.06 g · kg⁻¹, 由表6可知, 19 号园 3 种元素含量均处于缺乏状态, 选择肥料种类时应整体增加 3 种元素含量; 依照 DRIS 指数法给出的需肥顺序, 肥料中各元素增加的顺序为 K>P>N。

3 讨论

高产组 5 号和低产组 3、11、19 号果园经过两种方法分析, 诊断结果中的需肥顺序略有差别。原因可能是, 4 个果园的部分 DRIS 重要参数值接近 DRIS 诊断图中划分区域的临界值, 对图解法的诊断结果造成干扰。使用 DRIS 指数法进行精确计算, 对图解法结果做出修正, 两种方法综合使用, 确保诊断结果更加可靠, 与邹智滢等^[20]和李惠通等^[21]的研究基本相符。

表5中, 低产组有 87.5% 的果园 I_N 为正值, 诊断为 N 元素不缺乏。从实际含量测定来看, 低产组中果园的 N 元素含量普遍达不到适宜值, 说明

DRIS 指数法在叶片营养元素含量低于适宜值时, 存在一定局限性。原因可能是, DRIS 参数是比值, 代表元素含量的相对高低, 无法体现元素实际含量的多少^[22]。当叶片营养元素含量整体偏低时, 叶片可能出现低水平营养平衡, 导致缺乏程度较轻的元素指数诊断为正值, 造成误差; 当叶片营养元素含量整体偏高时, 也出现类似的误诊情况。将 DRIS 与元素临界含量法结合应用, 制定各营养元素 DRIS 临界含量分级标准, 修正 DRIS 指数法在低水平或高水平营养平衡条件下的局限性, 更加准确地判断叶片营养平衡情况, 与胡渊^[23]和叶功富等^[24]的研究结果基本一致。

调查显示, 烟台苹果园施用化肥中 N、P₂O₅、K₂O 养分平均投入量分别为 508.3、544.5、521.8 kg · hm⁻², 存在肥料投入不平衡的现象^[8], 易造成叶片营养失衡, 与 DRIS 营养诊断结果基本相符。依照 DRIS 的要求, 烟台红富士苹果园平衡施肥应根据果树对 N、P、K 的需求, 选择合适的肥料配比进行精准配方施肥, 与闫鹏科等^[10]和张磊等^[12]的研究结果一致。

DRIS 临界含量分级标准的准确程度与叶片营

养元素含量适宜范围的准确性密切相关。烟台红富士苹果叶片 N、P、K 含量的适宜范围与不同产区红富士苹果叶片营养元素含量推荐标准基本一致(表 7)。由表 7 可知,烟台红富士苹果叶片 N、P 含量的适宜范围与胶东半岛^[25]红富士苹果叶片营养元素含量推荐标准基本一致,K 含量的适宜范围与辽西地区^[26]红富士苹果叶片营养元素含量推荐标准基本一致;与黄土高原产区^[27]红富士苹果叶片营养元素含量推荐标准相比较,烟台红富士苹果叶

片 P 含量的适宜范围略高,两产区 N 和 K 含量的适宜范围基本一致。各地区红富士苹果叶片营养元素含量推荐标准的差异,可能与当地的成土母质、成土过程、栽培方式以及取样方法等因素有关。DRIS 重要参数的选择对叶片 DRIS 营养诊断结果影响较大,不同条件下对同一树种进行 DRIS 诊断,选出的 DRIS 重要参数也存在差异^[28]。烟台红富士苹果叶片 DRIS 营养诊断结果是否适用于其他地区的苹果园,有待进一步研究。

表 7 不同产区提出的红富士苹果叶片营养元素含量推荐标准

(g·kg⁻¹)

元素	红富士苹果产区			
	烟台地区	胶东半岛	辽西地区	黄土高原
N	23.39 ~ 26.81	23.36 ~ 25.88	25.60 ~ 27.50	21.50 ~ 26.60
P	2.13 ~ 2.37	1.79 ~ 2.27	1.90 ~ 2.30	1.18 ~ 1.86
K	8.43 ~ 12.26	13.02 ~ 16.88	10.50 ~ 11.60	5.50 ~ 11.60

4 结论

烟台红富士苹果园高产组和低产组的叶片营养元素含量与平衡情况存在差异。高产组苹果叶片 N、P、K 的平均含量皆高于低产组。高产组和低产组叶片的 N 含量差距较小,P、K 含量差距较大。高产组叶片营养失衡情况较轻,25% 的果园营养重度失衡;低产组失衡情况较重,75% 的果园营养重度失衡。

烟台红富士苹果园高产组和低产组对元素的需求情况存在差异。高产组整体需肥顺序为 N>K>P,高产组中 58.33% 的果园缺乏 N、50% 的果园缺乏 K,N 和 K 的缺乏成为限制高产组苹果产量提升的主要因素。低产组整体需肥顺序为 K>P>N,低产组中 75% 的果园缺乏 P、87.5% 的果园缺乏 K,P 和 K 的缺乏成为限制低产组苹果产量提升的主要因素。

DRIS 图解法可以直观地表达出 DRIS 重要参数的平衡范围,DRIS 指数法可以精确判断每个果园的需肥顺序。依据 DRIS 临界含量分级标准,具体划分各元素含量的适宜范围。通过 DRIS 图解法和指数法,进行叶片营养诊断,结合 DRIS 临界含量分级标准,可在生产上指导果农调整肥料投入,促使苹果叶片营养含量趋于平衡,提升苹果产量。

参考文献:

- [1] 常倩,李瑾. 2000 年以来中国苹果产业发展趋势分析[J]. 北方园艺, 2021 (3): 155-160.
- [2] 袁斌,张燕媛,陈超. 中国苹果产业格局演化及机制分析——基于农户决策的微观视角[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31 (6): 32-37.
- [3] 山东省统计局,国家统计局山东调查总队. 山东统计年鉴 2021 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [4] 王大鹏,崔茂森. 山东省水果产业集群集中度和竞争力分析——以烟台苹果、莱阳梨和大泽山葡萄为例[J]. 林业经济, 2020, 42 (2): 83-92.
- [5] 万炜,师纪博,刘忠,等. 栖霞市苹果园氮磷养分平衡及环境风险评价[J]. 农业工程学报, 2020, 36 (4): 211-219.
- [6] 蒋文青,李龙,杨丽雯,等. 烟台苹果出口竞争力分析[J]. 中国果树, 2021 (8): 96-101.
- [7] 陈昕楠,王丽霞,庞力豪,等. 山东烟台苹果产区土壤 pH 值、有机质含量和速效养分含量调查[J]. 中国果树, 2019 (5): 25-28, 40.
- [8] 陈毅凡,吴天昊,韩熙睿,等. 山东烟台苹果施肥现状调查[J]. 中国果树, 2021 (7): 91-95.
- [9] 国艳春,孙显旻,曾路生,等. 山东平度市苹果园土壤养分现状调查与评价[J]. 山东农业科学, 2020, 52 (12): 66-70.
- [10] 闫鹏科,侯婷,张丽,等. 宁夏“富士”苹果大量元素动态分析和需肥规律[J]. 中国土壤与肥料, 2020 (1): 113-118.
- [11] Ge S F, Zhu Z L, Peng L, et al. Soil nutrient status and leaf nutrient diagnosis in the main apple producing regions in China

- [J]. Horticultural Plant Journal, 2018, 4 (3): 89-93.
- [12] 张磊, 张宏建, 孙林林, 等. 基于叶片营养诊断的苹果园果树精准施肥模型研究[J]. 中国土壤与肥料, 2019 (6): 212-222.
- [13] 王崇红, 陈冬生, 王燕. 烟台市苹果产业布局及结构优化建议[J]. 中国果树, 2019 (6): 101-105.
- [14] Beaufils E R. Diagnosis and recommendation integrate system (DRIS) [J]. Soil Science Bulletin, 1973 (1): 120-132.
- [15] da Silva G P, Lucas J C H. Limitation due to nutritional deficiency and excess in sugarcane using the integral diagnosis and recommendation system (DRIS) and nutritional composition diagnosis (CND) [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2021, 52 (12): 1458-1467.
- [16] Chaleshtori A A, Panahpour E, Iranipour R, et al. Diagnosing the nutritional balance of Almond (*Prunus* sp.) orchards using DRIS and DOP methods [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2020, 40 (4): 1-12.
- [17] Villaseñor D, de Mello P R, da Silva G P, et al. DRIS norms and limiting nutrients in banana cultivation in the South of Ecuador [J]. Journal of Plant Nutrition, 2020, 43 (18): 2785-2796.
- [18] 吴良泉, 张世昌, 朱东煌, 等. 琯溪蜜柚品质综合评价及优质高产的营养诊断[J]. 热带作物学报, 2019, 40 (9): 1693-1699.
- [19] 康专苗, 姚智, 白亭玉, 等. DRIS 法在“帕拉英达”芒果营养诊断上的应用[J]. 中国南方果树, 2018, 47 (3): 80-83.
- [20] 邹智滢, 张国防, 冯瑜, 等. 不同施肥处理芳樟 N、P、K 元素的 DRIS 营养诊断[J]. 西南林业大学学报, 2015, 35 (5): 32-36.
- [21] 李惠通, 牛宁, 贾代东, 等. 基于二次通用旋转设计的杉木苗期施肥营养诊断研究[J]. 中国土壤与肥料, 2017 (1): 73-79.
- [22] 周龙, 汤利, 陈俊, 等. 褚橙龙陵基地柑橘叶片 DRIS 图解法和指数法综合营养诊断分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51 (10): 2498-2506.
- [23] 胡渊. 新疆乌什县新温 185 号核桃树体营养诊断与施肥建议综合法 (DRIS) 指标体系研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015. 33-41.
- [24] 叶功富, 高伟, 杜林梅, 等. 基于 DRIS 法的短枝木麻黄苗期综合营养诊断[J]. 植物科学学报, 2013, 31 (2): 136-142.
- [25] 张玉娜, 管押琴, 巩峻豪, 等. 胶东半岛富士苹果叶营养元素分布规律研究[J]. 河北农业大学学报, 2016, 39 (6): 73-77.
- [26] 范元广, 李壮, 李敏, 等. 辽西红富士苹果叶片矿质营养分析及诊断研究[J]. 中国果树, 2014 (3): 20-25.
- [27] 张东, 赵娟, 韩明玉, 等. 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析[J]. 园艺学报, 2014, 41 (11): 2179-2187.
- [28] 马海洋, 同延安, 路永莉, 等. 诊断施肥综合法 (DRIS) 在渭北旱塬红富士苹果营养诊断中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31 (2): 84-88, 99.

Leaf nutritional diagnosis of Yantai Red Fuji apple based on diagnosis and recommendation integrated system

WU Tian-hao, HE Shu-peng, HAN Xi-rui, YANG Shou-jun, YU Hong, WANG Cheng-guo* (Yantai Institute of China Agricultural University, Yantai Shandong 264670)

Abstract: The nutrition of Yantai Red Fuji apple leaves was diagnosed in response to the unreasonable fertilization method of apple orchards in Yantai which caused the nutritional imbalance of trees and the slow growth of fruit and the uneven quality of apples, and thus promoting the balance fertilization of apple orchards. Based on DRIS (diagnosis and recommendation integrated system), the N, P and K of leaves are used for nutritional analysis. Through DRIS graphic method and index method, the required fertilizer order of each nutrient element in apple leaves and NII (nutrient imbalance index) are obtained. The results show that the urgency of fertilizer requirement for the high-yield orchards is $N > K > P$ and the average NII is 21.93; the urgency of fertilizer requirement for the low-yield orchards was $K > P > N$ and the average NII is 57.28. The nutrition of low yield orchards is seriously unbalanced. The DRIS critical classification standard shows that the equilibrium concentration of the three elements are respectively within the ranges of 23.39 ~ 26.81, 2.13 ~ 2.37, 8.43 ~ 12.26 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The urgency ranking of fertilizer requirements and the DRIS critical classification standard can be used as the basis for balanced fertilization of Yantai Red Fuji apple.

Key words: DRIS; leaf; nutritional diagnosis; Red Fuji apple