植物营养与肥料学报 2006,12(4):473－478
Plant Nutrition and Fertilizer Science

作物N、P、K含量对于平衡施肥的诊断意义

蔡祖聪，钦绳武
（土壤与农业可持续发展国家重点实验室，中国科学院南京土壤研究所，江苏南京 210008）

摘要：利用在河南封丘潮土进行的长期肥料试验，以NPK处理为参照，分析肥料N、P、K不同配比处理的小麦、玉米子粒和秸秆中N、P、K含量变化。结果表明，小麦和玉米子粒或秸秆中N、P、K含量或比值可以很好地反映提供给小麦和玉米的N、P、K养分是否均衡。因此，通过作物收获物养分含量和比值及其产量分析，有可能为施肥是否满足作物对养分的均衡需求提供一个诊断标准，为下一季同一作物的施肥提供依据。文章还提出了制定相对参照标准的可能途径。

关键词：作物养分；平衡施肥；诊断
中图分类号：Q945.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)04-0473-06

Diagnosis of balanced fertilization by N, P, K contents in grain and straw of wheat and maize

CAI Zu-cong, QIN Sheng-wu
(*State Key Lab. of Soil and Sustainable Agric., Inst. of Soil Sci. CAS, Nanjing 210008, China*)

Abstract: A key issue to raise nutrient utilization efficiency and to mitigate environmental impact of fertilization is to balance the supplies of nutrients for crop growth. Techniques for balanced fertilization have been well developed, for instance, soil testing and plant analyses. The aims of balanced fertilization are not only to balance nutrient input into and output from soil, but also to balance nutrient supplies for crop growth. However, indicators have not been developed to diagnose whether supplied nutrients are balanced or not for crop growth. We analyzed the N, P, K contents in grain and straw of wheat and maize harvested from a long-term fertilizer experiment located at the Fengqiu Ecological Experimental Station, Chinese Academy of Sciences. The results showed that the contents of N, P, and K in grain and straw of wheat and maize well reflected the balance status of N, P, and K supplies. Thus the analyses of nutrient contents would be able to diagnose whether the fertilization was balanced or not and to recommend fertilizer application rates and ratios of N, P, and K for the next same crop. The method for establishing relative criteria was also proposed.

Key words: Nutrient content; balanced fertilization; diagnosis

我国作物对化肥养分的利用率低所导致的环境污染严重已经受到了高度重视[1]。施用化肥导致的这些问题，不仅仅由过量施用肥料造成，如果养分供应不平衡，即使在肥料施用量不大的情况下，肥料的损失仍可能很大，特别是氮肥的损失[2-3]。平衡施肥不仅可以提高养分利用率，而且还可以减少病虫害的发生[4]，改善作物品质[5]。实现平衡施肥的主要途径是通过测定土壤中养分含量，进行肥料的合理配方，所以，平衡施肥技术也称为测土配方施肥[6]。测土施肥技术的研究已经取得了很大的进

收稿日期：2005-11-30　　**修改稿收到日期**：2006-01-21
基金项目：国家重点基础研究发展计划(973计划)(2005CB121101)资助。
作者简介：蔡祖聪(1958—)，男，浙江余姚人，研究员，主要研究土壤碳、氮循环与全球变化。

展，收到了一定的成效[7]。但是，至今平衡施肥研究未曾涉及到一个关键的问题，即：施肥是否平衡的判断标准问题。即使不考虑作物、土壤等因素，土壤有效养分的含量临界值只能给出是否需要施用某一种养分的答案，并不能给出对于特定的作物养分供应之间是否平衡的判断。根据土壤养分供应规律和作物养分需求规律确定施肥量和施肥时间的方法，需要大量的研究结果，而且也不能回答养分之间是否平衡的判断问题。根据土壤养分输入/输出平衡的计算，只能判断土壤养分持有量是否平衡，并不能回答土壤持有的养分对特定的作物需要是否平衡的问题。况且，一些土壤养分的输入/输出项目测定还存在很大的技术问题，如氮的反硝化损失；一些可以测定的项目不仅费时、而且测定精度较低，如径流和淋溶损失。没有平衡施肥的判断标准，平衡施肥只能停留在经验判断的层次上。为此，根据长期肥料试验结果，探讨通过分析作物养分含量诊断作物养分需求是否平衡的可能性。

1 材料与方法

长期肥料试验在河南省封丘国家农业生态试验站进行。该长期试验的种植制为冬小麦和夏玉米一年两季，有关的背景情况见参考文献[2,8]。该长期试验包括 NPK、NP、NK、PK、1/2 OM（一半 N 来之于有机肥）、OM（全部 N 来之于有机肥）和 CK（不施用肥料）等处理。化肥和有机肥处理的 N、P、K 均等量施用，施氮量为每季 N 150 kg/hm^2。施有机肥的处理，有机肥中 P、K 不足部分用化肥补足。试验开始于 1989 年小麦播种时。本试验分析从试验开始至 2003 年玉米收获的结果。由于 2000 年夏季洪灾，玉米绝收，所以共收获了 14 季小麦和 13 季玉米。每年作物收获后，分析子粒和秸秆中 N、P、K 含量；玉米收获后，采集耕层土壤（0—20 cm）分析土壤有机 C、全 N 和无机 N、有效 P、有效 K。

2 结果分析

在该长期肥料试验中 NPK、1/2 OM 和 OM 处理，N、P、K 的施用量相等，但在一些处理中，如 NK，NP，PK 处理，由于没有施用某一养分，该养分可能缺乏。由于化肥和有机肥中养分的有效性不同，不同肥料提供给作物可利用的实际养分量也不完全相等。该长期肥料试验各处理小麦和玉米产量及其动态变化见参考文献[2]，本文只给出平均产量（表 1）。从表 1 可以看出，NPK 处理的小麦和玉米产量均最高，并与其它各处理的产量差异达到了统计显著性（$P < 0.05$）水平。

众所周知，植物中 N、P、K 含量因植物种类而异。从表 1 可以看出，小麦子粒和秸秆中 N、P、K 含量与玉米子粒和秸秆中含量有较大的差异。特别是子粒 N 含量和秸秆中 P 含量，差异更加明显。小麦子粒的 N 含量较玉米高，而秸秆中玉米的 N 含量较高。小麦和玉米子粒和秸秆中 N、P、K 含量不仅因作物种类而异，而且处理之间的差异也均达到了极显著的程度（$P < 0.01$）。但是，如果孤立地分析每一个处理，我们并不能从子粒和秸秆 N、P、K 含量中得出它们的相对丰缺程度，即不能判断养分供应是否平衡。因此，为了比较，需要有一个作物养分含量处于平衡状态的参照值。但是，目前还不可能获得各种作物及其品种的养分含量处于平衡状态的理论值。在科学上，为了实际操作的需要，常常通过建立相对参照标准来解决这一问题。该长期肥料试验中，NPK 处理的小麦和玉米产量最高，年际间变化小[2]，而且也是以养分供应平衡设计的。所以，我们以 NPK 处理的子粒和秸秆中含量作为相对参照标准，结合作物产量，通过分析其它各处理子粒和秸秆中 N、P、K 含量相对于 NPK 处理的变化，讨论它们对土壤养分供应平衡程度的反映情况。

2.1 子粒和秸秆中 N、P、K 含量

对于对照 CK，小麦和玉米产量极低，14 年平均仅为 NPK 处理的 11%，这很好地反映了 CK 养分供应不足的客观事实。分析小麦和玉米子粒中 N、P、K 含量，可以进一步发现，CK 处理的小麦和玉米子粒 N 含量均显著高于 NPK 处理，但 P 和 K 含量均显著低于 NPK 处理（表 1）。比较而言，小麦和玉米子粒中 P 含量分别降低了 11.7% 和 28.6%，而 K 仅分别降低了 7.6% 和 4.1%。由此可以看出，在这三要素中，在不施肥的情况下，P 的缺乏是第一位的，而 N 供应相对过剩。这与该供试土壤有效 P（1.9 mg/kg）不足，有效 K（79 mg/kg）相对丰富，该地区大气 N 沉降较大的事实相一致[2]。因此，施用 P 肥（处理 PK）对小麦和玉米的增产效果大于施用 N 肥（比较 NK 处理，表 1）。在 NK 处理中，由于 P 不足的状况未得到改善，N 肥的施用使 N 过剩程度更高，子粒中 N 含量进一步提高，相反 P 含量进一步降低，K 含量略高于 CK。由于 N 大量过剩，导致 NO_3^- 向土壤剖面深层的淋溶[2]。在 PK 处理中，虽然没有通过施肥补充 N，但由于改善了 P 的供应，小麦和玉米产量均显著较 NK 和 CK 提高。分析子粒中 N、

表 1　小麦和玉米平均产量和子粒、秸秆中 N、P、K 含量

Table 1　Averaged yields of wheat and maize from 1990 to 2003 and contents of N, P, and K in grain and straw

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm^2)	子粒养分含量 Nutrient content in grain (g/kg)			秸秆养分含量 Nutrient content in straw (g/kg)		
		N	P	K	N	P	K
				小麦 Wheat			
NPK	5261 a (11.1)[1)]	20.4 d (5.8)	2.83 d (11.7)	3.97 c (11.1)	3.78 d (10.4)	0.26 d (13.1)	16.0 b (19.9)
NP	5137 b (11.0)	21.1 c (5.8)	2.86 d (12.2)	3.84 d (10.8)	3.96 c (13.1)	0.27 d (17.0)	14.4 d (20.8)
1/2 OM	5160 b (14.7)	18.3 e (6.8)	3.35 c (8.0)	4.23 b (11.0)	3.47 e (11.4)	0.32 c (14.2)	14.8 c (21.0)
OM	4013 c (27.4)	17.1 f (9.1)	3.95 b (5.7)	4.41 a (9.6)	3.15 f (11.1)	0.61 b (33.3)	13.8 e (23.7)
PK	1252 d (40.2)	16.8 f (7.6)	4.19 a (9.8)	4.43 a (10.3)	3.15 f (16.5)	0.99 a (46.0)	11.9 f (20.0)
NK	660 e (37.4)	29.2 a (7.9)	2.36 f (5.7)	3.94 c (9.7)	6.96 a (16.9)	0.29 cd (21.3)	17.4 a (22.7)
CK	628 e (37.1)	24.4 b (10.1)	2.50 e (10.5)	3.67 e (10.0)	4.46 b (16.4)	0.29 cd (27.8)	11.7 f (23.6)
				玉米 Maize			
NPK	7808 a(22.8)	12.1 c (6.4)	2.41 d (10.1)	3.66 c (8.9)	6.31 c (12.7)	0.58 d (14.3)	16.6 b (16.9)
NP	7633 b(23.5)	12.4 c (9.8)	2.42 d (8.8)	3.45 d (7.1)	7.00 b (15.0)	0.61 d (15.9)	8.9 e (32.6)
1/2 OM	7685 b(21.8)	11.5 d (7.1)	2.68 c (7.4)	3.81 b (8.5)	6.18 c (10.5)	0.74 c (19.9)	16.8 a (14.6)
OM	6401 c(32.4)	11.0 e (8.2)	2.90 b (6.8)	3.82 b (10.5)	5.56 e (13.6)	1.12 b (39.3)	16.2 b (20.2)
PK	1583 d(45.1)	9.9 f (17.3)	2.97 a (8.8)	3.98 a (9.9)	4.40 f (12.6)	1.62 a (22.3)	14.7 c (18.4)
NK	980 e (78.4)	16.7 a (18.3)	1.67 f (23.0)	3.86 b (11.5)	10.10 a (12.2)	0.46 e (11.7)	13.2 d (23.4)
CK	869 e (73.8)	13.3 b (13.6)	1.72 e (20.1	3.51 d (13.0)	5.80 d (17.6)	0.43 e (13.0)	9.0 e (26.2)

1) 括号中为年际变异系数(%) Values in parenthesis are variation coefficients (%).

P、K 含量还说明，在 PK 处理施肥情况下，小麦和玉米子粒中 N 的含量较 NPK 处理子粒中分别降低了 17.6% 和 18.2%；P 分别增加 48.1% 和 23.2%，K 分别增加了 11.6% 和 8.7%。显然，以 NPK 子粒中 N、P、K 含量为标准，PK 处理的子粒和秸秆中 N 明显不足，P、K 的供应过量。相对于 K，P 的过量更加明显。

子粒中 N、P、K 含量相对于 NPK 处理的变化也很好地指示了有机肥 N、P、K 的有效性。大量的研究已经表明，在绝大多数情况下有机肥的 N 有效性低于化肥。NPK、1/2 OM 和 OM 处理小麦、玉米子粒和秸秆中 N 含量很好地反映了有机 N 的有效性较低的事实。这 3 个处理的 N、P、K 的施用量相等，但小麦和玉米子粒中这三要素的含量具有显著差异(表 1)。小麦子粒中 N 含量随着有机肥 N 比例从 0 (NPK 处理)的 20.4 g/kg，下降到有机 N 占 50%(1/2 OM)的 18.3 g/kg，并进一步下降到有机 N 占 100% (OM)的 17.1 g/kg。它们之间的差异均达到了统计显著水平($P < 0.05$)。秸秆中 N 含量也有相同的规律。虽然玉米子粒和秸秆中 N 绝对含量不同于小麦子粒和秸秆，但 3 种处理间的变化规律完全相同。从小麦、玉米子粒和秸秆 P 含量随着有机 N 所占比例的增加而增加的结果不难得出，有机肥 P 的有效性大于化肥，含量随着有机 P 所占比例的增加而增加。有机 P 较不易被土壤固定，对作物的有效性较大已经被大量的试验所证实。K 的情况略为复杂一些。在小麦、玉米子粒中，K 含量随有机肥 K 所占比例的增加而提高，但秸秆中，这一规律不明显。在小麦秸秆中，K 含量随有机肥所占比例的增加而下降；NPK 处理和 OM 处理的玉米秸秆中 K 含量无显著差异。

表 1 还可以看出，通过这 3 个处理的小麦和玉米产量的比较，虽然相对于 P 和 K，1/2 OM 处理的 N 供应不足，子粒和秸秆中 N 含量较 NPK 低，产量也受到了显著影响($P < 0.05$)，但产量下降的幅度并不大，14 年平均分别下降 1.4% 和 1.6%。OM 处理中，N 的相对不足已经严重影响小麦和玉米产量，下降幅度分别达到了 22% 和 18%。这说明只有当 N 的供应相对不足到一定程度时，才对产量产生严重的影响。由于有机肥中 P、K 的有效性较化肥高，而 N 的有效性较化肥低，施用等 P、K 量的情况下，有机肥能实际提供给作物利用的 P、K 量较化肥多，N 较化肥少，因此，施肥有机肥时，N 的相对比例应该高于化肥。

2.2　养分供应不平衡状况的检出率

由于即使在平衡施肥下收获的子粒和秸秆中

N、P、K 含量也不可能是固定值。如表 1 所示，NPK 处理子粒和秸秆中 N、P、K 含量均有一定的年际变化，尤其以秸秆中的变化为大；在养分元素中，则以 N 的变化最小。所以，子粒和秸秆中 N、P、K 含量与参照值在一定范围内的差异并不一定表明养分供应已经失去平衡，只有当差异超过一定范围后，才能判定相对于其它养分，该养分的供应是否过量或不足。14 年小麦和 13 年玉米 N、P、K 平均含量的差异得出的是总趋势，实际应用时则需要对每年的结果做出判断。现以 NPK 处理 14 年小麦和 13 年玉米子粒和秸秆中 N、P、K 的平均含量或 N/P、N/K、P/K 比的平均值为参照，假定该平均值加减 1.96 个标准差(95%置信度)为正常的变化范围，检验每年收获的小麦、玉米子粒和秸秆中 N、P、K 含量及其比值与 NPK 相应参照值的差异是否到达失衡的程度。某一处理中，N、P、K 含量或比值小于或大于参照值范围的年份数占总年份数的百分数，称之为检出率。

通过上述参照值与收获的小麦、玉米子粒和秸秆相应数值的逐年比较发现，虽然 14 年长期肥料试验的平均值表明各处理 N、P、K 含量相对丰缺程度极其显著，但以此标准检验时，每一年的结果并不一定总是表现出某一养分的缺乏或过量；而且分析子粒和秸秆养分元素含量获得的检出率也有所差异。表 2 给出检出率最大的 N/P 比的结果。14 年的平均值比较已经说明，P 供应相对富足，N 供应相对不足的处理有 1/2 OM、OM 和 PK 处理，且不平衡的程度依次增加。通过检出率分析发现，1/2 OM 处理小麦子粒中 N/P 比小于参照值的有 12 年(检出率 86%)，而 OM 和 PK 处理，检出率达 100%，即每年的结果都表明 N 不足而 P 相对过量。相反，CK 和 NK 处理的 N 供应相对过量而 P 相对不足，而且失衡的程度也依次增加。子粒中 N/P 比的检出率同样符合这一规律，CK 为 79%，NK 达到 100%。玉米子粒的 N/P 比分析结果与小麦相同，但检出率较低，只有 NK 处理的 N/P 比大于参照值的检出率达到 100%。秸秆的分析结果与子粒的结果有相同的趋势，但小麦秸秆的检出率低于子粒。对于 N 相对过量的情况，用玉米子粒的检出率较高，而对于 N 相对不足的情况，用秸秆的检出率较高。

表 2 以 NPK 处理子粒和秸秆中 N/P 比平均值(95%置信度)为参照(A)，各处理子粒和玉米中 N/P 比检出率

Table 2 Percentages of N/P ratio in grain and straw larger or less than the values (A) in grain and straw of NPK treatment at 95% confidence

处理 Treatment	子粒 Grain				秸秆 Straw			
	小麦 Wheat		玉米 Maize		小麦 Wheat		玉米 Maize	
	N/P < A	N/P > A	N/P < A	N/P > A	N/P < A	N/P > A	N/P < A	N/P > A
NPK	0	0	0	8	0	0	8	8
NP	0	7	0	8	0	7	0	0
1/2 OM	86	0	8	0	71	0	38	0
OM	100	0	54	0	100	0	85	0
PK	100	0	77	0	100	0	100	0
NK	0	100	0	100	0	100	0	100
CK	0	79	0	92	7	57	0	54

2.3 作物 K 含量对土壤供 K 水平变化的预测作用

由于供试土壤 K 相对比较丰富，NP 处理的小麦只在 9 年后，玉米只在 11 年后才开始稳定地低于 NPK 处理，而且差异不断增加(图 1a、b)。通过这 2 个处理的小麦、玉米子粒中每年 K 含量双尾 t 检验发现，差异达到显著性的仅分别为 2 年和 6 年。小麦秸秆中，双尾 t 检验表明，1998 年后 NP 处理秸秆中仅 2000 年外，其余各年 K 含量均低于 NPK 处理(图 1c)；玉米秸秆中在试验一开始，NP 处理的 K 含量即已显著低于 NPK 处理，而且没有例外(图 1d)。同时考虑所有处理的方差分析得到相同的结果。这一结果说明，对于 K，秸秆的指示作用大于子粒；玉米产量尚未因不施 K 而下降时，秸秆 K 含量已经有明显下降。因此，通过分析玉米秸秆 K 含量可以达到早期预警的作用。

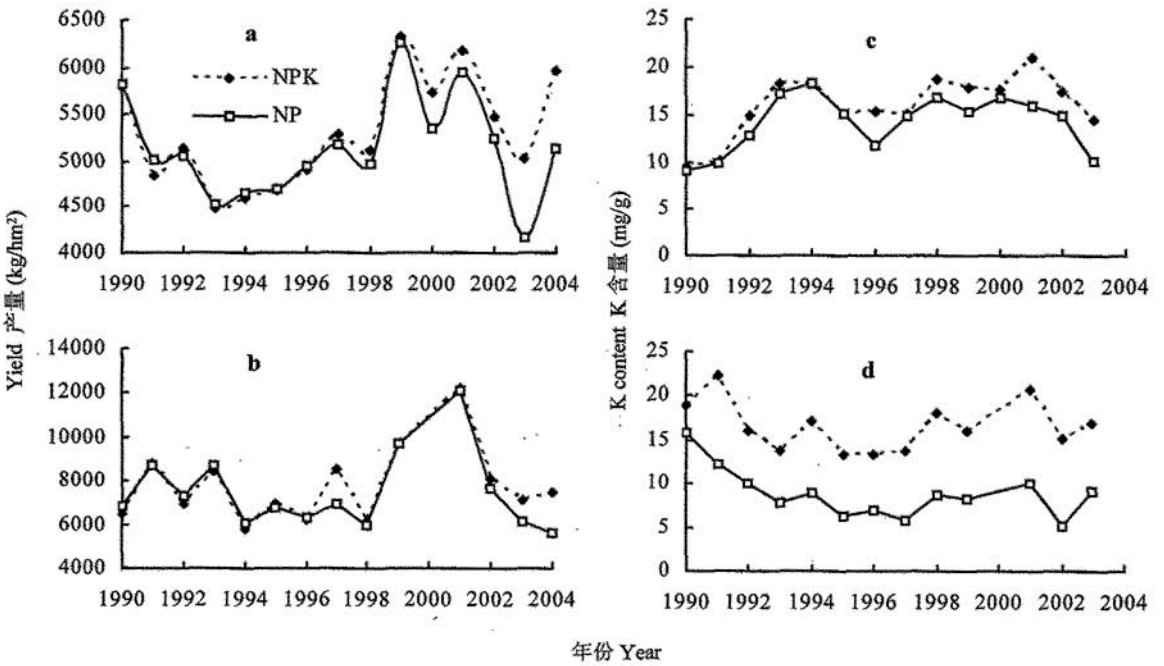

图 1　NPK 和 NP 处理小麦(a)、玉米(b)历年产量和小麦(c)和玉米(d)秸秆 K 含量变化

Fig.1　Variations of wheat (a) and maize (b) yields and K content in wheat (c) and maize (d) straw in treatments NPK and NP

3　讨论

土壤养分供应状况对植物中养分含量及其比值的影响是一种客观存在。黄土高原进行的小麦长期肥料试验也获得了类似的结果[9]。在黄土高原土壤上，长期不施肥的处理(CK)，子粒 N 平均含量为 14.76 mg/kg，较施 NPK 处理(18.38 mg/kg)下降 19.7%，但 CK 和 NPK 处理小麦子粒的 P 含量几乎相等，分别为 2.96 和 2.97 mg/kg。由此可以诊断出该土壤缺 N 较缺 P 严重，产量结果也证明，单施用 P 肥，18 年小麦平均产量较 CK 减产 3.2%。相反，单施 N 肥，较 CK 增产 85.2%。该土壤供试前土壤有效 P 含量(2.2 mg/kg)与本试验的潮土几乎相当(1.9 mg/kg)。但对潮土施 P 具有显著的增产作用，而施 N 无增产作用(表 1)。由此可以看出，单纯的土壤有效养分分析并不能客观地反映土壤养分供应的相对丰缺程度，而通过子粒养分含量分析则能较好地反映。

植物分析指导施肥的概念早已存在[10]。在植物生长的一定阶段，可通过测定植物某一部位养分含量，诊断作物是否需要施肥。营养诊断施肥技术已经广泛应用[11-12]。由于运用该技术具有很强的时效性，为了不失时机地获得诊断结果和施肥，还开发出了一些快速分析仪器或间接诊断方法[11-13]。从本试验结果可以看出，如果存在某一作物品种收获物养分含量的标准值，则利用上一季收获的该作物品种子粒或秸秆中养分含量与标准值的比较，有可能作出上一季施肥是否符合作物养分平衡供应需求的诊断，从而为下一季该作物品种的施肥提供依据。这一方法解决的是下一季作物平衡施肥的问题。由于收获物相对容易保存，同一作物品种的种植通常又有较长的间隔时间；因此有充裕的时间进行分析。但本研究只利用了一个长期肥料试验的结果，由于同时提供 N、P、K 肥料配比和收获物 N、P、K 养分含量的文献较少，所以，还不能进行大量研究结果的分析和推广应用，因成熟期作物体 N、P、K 含量还受到多种因素，如气候、水分管理等的影响。然而作物体内养分含量对土壤养分相对供应水平及其平衡程度的响应是客观存在的事实，这就有可能提供一个平衡施肥的诊断标准。将这一方法与测土施肥技术相结合，将有可能真正实现平衡施肥，提高肥料利用率，减少施肥对环境的不利影响。因此，这是一个值得进行进一步深入研究的问题。

应用这一方法的关键是确定特定作物品种的养分含量及其比值的参照值。本研究中，将 NPK 处理的小麦和玉米中 N、P、K 含量及其比值作为参照值，但实际运用中通过长期试验来获得这些参照值难度较大。然而，如果在作物新品种的培育过程中同时

分析作物所需部位的养分含量，新品种定型时，即可获得参照值。通过政府规范，新品种推向市场时，标明某一特定作物部位的养分含量及其变化范围，即可以为种植者或农技推广人员诊断其施肥是否满足平衡施肥要求。实际应用中，我们希望有效地判断出的土壤养分元素供应失衡的程度越小越好，以便及时调整。提高做出正确判断的概率，关键是减小参照值的变化范围(标准差)。本试验的作物品种随着当地优先品种的变化而变化，由于同一种作物，不同品种的N、P、K含量和比值可能不同，这有可能使本试验的标准差较大。因此，在实际应用时，标准差有可能减小。另一方面，也可以通过减小置信度范围来提高养分失衡的检出率。

同时必须注意到，养分的均衡供应并不等于足量供应。在养分供应量低时，即使养分供应量之间是均衡的，但作物产量可能仍然较低。因此，在实际应用此方法时，还必须同时结合比较上一季的作物产量与该作物品种可以达到的实际产量，然后，按比例地增加或减少肥料施用量。

参考文献：

[1] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境，2000(9)：1-6.
Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plant-soil systems and strategies and techniques for its reduction [J]. Soil and Environ. Sci., 2000(9): 1-6.

[2] 蔡祖聪，钦绳武.华北潮土长期试验中的作物产量、氮肥利用率及其环境效应[J].土壤学报，2006，43(6)：905-910.
Cai Z C, Qin S W. Crop yield, N use efficiency and environmental impact of a long-term fertilization experiment in fluvor aquic soil in North China [J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(6): 905-910.

[3] 樊军，郝明德，党廷辉.旱地长期定位施肥对土壤剖面硝态氮分布与累积的影响[J].土壤与环境，2000，9(1)：23-26.
Fan J, Hao M D, Dang T H. Distribution and accumulation of NO_3^--N in soil profile of long-term located fertilizer experiment [J]. Soil and Environ. Sci., 2000, 9(1): 23-36.

[4] Alyokhin A, Porter G, Groden E, Drummond F. Colorado potato beetle response to soil amendments: A case in support of the mineral balance hypothesis? [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 109: 234-244.

[5] 董燕，王正银，丁华平，等.平衡施肥对生菜产量和品质的影响[J].西南农业大学学报(自然科学版)，2004，26：740-744.
Dong Y, Wang Z Y, Ding H P *et al*. Effects of balanced fertilization on the yield and quality of romaine lettuce [J]. J. Southwest Agric. Univ. (Natural Sci.), 2004, 26: 740-744.

[6] 农业新技术编辑部.什么是平衡施肥(技术)[J].农业新技术，2005(2)：6-7.
Editorial Office of New Agriculture Technology. What is balanced fertilization (Techniques) [J]. New Agriculture Technology, 2005(2): 6-7.

[7] 黄德明.十年来我国测土施肥的进展[J].植物营养与肥料学报，2003，9(4)：495-499.
Huang D M. Soil testing and fertilizer recommendations in China during the past decade [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(4): 495-499.

[8] 钦绳武，顾益初，朱兆良.潮土肥力演变与施肥作用的长期定位试验初报[J].土壤学报，1998，35(3)：367-375.
Qin S W, Gu Y C, Zhu Z L. A preliminary report on long-term stationary experiment on fertility evolution of Fluvo-Aquic soil and the effect of fertilization [J]. Acta Pedol. Sin., 1998, 35(3): 367-375.

[9] 郝明德，王旭刚，党廷辉，等.黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J].作物学报，2004，30(11)：1108-1112.
Hao M D, Wang X G, Dang T H *et al*. Analysis of long-term fertilization effect on yield of wheat in dry-land on Loess Plateau [J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(11): 1108-1112.

[10] Kitchen H B. Diagnostic techniques for soils and crops [M]. Washington: The American Potash Institute, 1948.

[11] 姜益娟，郑德明，柳维杨，王冀平.反射仪在棉花营养诊断中的测定技术[J].塔里木大学学报，2005，17 (1)：49-52.
Jiang Y J, Zheng D M, Liu W Y, Wang J P. Survey Technique of diagnosing the nutrition of the cotton through reflectometer [J]. J. of Tarim Univ., 2005(1), 17: 49-52.

[12] 朱新开，盛海君，顾晶，等.应用SPAD值预测小麦叶片叶绿素和氮含量的初步研究[J].麦类作物学报，2005，25(2)：46-50.
Zhu X K, Sheng H J, Gu J *et al*. Primary study on application of SPAD value to estimate chlorophyll and nitrogen content in wheat leaves [J]. J. of Triticeae Crops, 2005, 25(2): 46-50.

[13] Alam M M, Ladha J K, Khan S R *et al*. Leaf color chart for managing nitrogen fertilizer in lowland rice in Bangladesh [J]. Agro. J., 2005, 97 (3): 949-959.