植物营养与肥料学报 2014,20(5):1212-1220
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0518

荔枝叶片养分含量动态及不同比例钾、氮肥施用效应

杨苞梅[1],姚丽贤[2*],李国良[1],周昌敏[1],何兆桓[1]
(1 农业部南方植物营养与肥料重点实验室,广东省农业科学院农业资源与环境研究所,广东省养分循环利用与耕地保育重点实验室,广东广州 510640;2 华南农业大学资源环境学院,广东广州 510640)

摘要:【目的】探索荔枝叶片养分含量的周年变化规律及钾、氮肥不同施用比例对荔枝产量及其种植效益的影响,为荔枝生产中的施肥管理、营养调控与增产增效提供理论依据和实践指导。**【方法】**在大田栽培条件下,以1995年嫁接苗种植的国内主栽品种妃子笑为试材,设置钾、氮肥不同施用比例(K_2O/N 分别为0.6、0.8、1.0、1.2和1.4)5个处理,随机区组排列,于2009~2012年3个生长季在广东省惠州市荔枝主产区进行试验。在荔枝不同生育期定期采集荔枝叶片测定矿质元素含量,荔枝成熟时于田间按小区实收称重测产。**【结果】**荔枝叶片不同生育期的养分含量存在明显差异;在整个生育期,叶片养分含量的大小均表现为N > K > Ca > Mg > P > S > B > Zn > Mo;叶片K与Ca、Mg含量有极显著的负相关关系,K与Zn含量呈显著负相关,而Ca、Mg、Zn含量两两间呈显著正相关;叶片N与S、B含量呈显著负相关,而S与B呈极显著正相关;叶片P与Ca、Si含量呈显著负相关,而Ca与Si呈显著正相关。等氮基础上随着 K_2O/N 比的提高,荔枝产量和种植效益均出现先升高后降低的规律;以 K_2O/N 比例为1.0~1.2时荔枝产量最高、效益最好。**【结论】**在我国荔枝主产区以保持钾、氮肥养分施用比例($K_2O:N$)为1.0~1.2为宜。

关键词:荔枝;妃子笑;矿质元素;钾氮比;产量
中图分类号:S667.1.601 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2014)05-1212-09

Dynamic changes of nutrition in litchi leaves and effects of potassium and nitrogen fertilization

YANG Bao-mei[1], YAO Li-xian[2*], LI Guo-liang[1], ZHOU Chang-min[1], HE Zhao-huan[1]
(1 Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer in South Region, Ministry of Agriculture/Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2 College of Resources and Environmental Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract:【Objectives】Field experiment was conducted to determine the annual changes of element contents in litchi leaves and the effects of the nitrogen (N) and potassium (K) ratio on the yield and planting benefits of litchi, aiming to provide a theoretical basis and practical guidance for fertilization management, nutrition regulation in litchi production. **【Methods】**The cultivar "Feizixiao" litchis, the main domestic grafted seedlings, were planted in 1995 and taken as tested material. Field experiments with different ratios of potassium over nitrogen (K_2O/N: 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 and 1.4) were conducted in the main litchi plant region of Guangdong in the 3 growth seasons from 2009 to 2012. Litchi leaves were collected periodically to measure the contents of mineral elements. When litchis are ripe, the actual yields of litchis were weighed in the field. **【Results】**The nutrient contents in litchi leaves vary significantly in different growing stages. During the whole growing period, the contents of nutrient elements in litchi leaves are in order of N > K > Ca > Mg > P > S > B > Zn > Mo. The K content is highly and negatively correlated with the contents of Ca and Mg, and significantly and negatively correlated with that of Zn.

收稿日期:2013-07-03 **接受日期:**2013-11-04
基金项目:国家荔枝龙眼产业技术体系项目(CARS-33);国际植物营养研究所(IPNI)资助项目;农业部南方植物营养与肥料重点实验室开放基金项目(TFS2011-03)资助。
作者简介:杨苞梅(1983—),女,江西余干人,硕士,助理研究员,主要从事果树营养与生理研究。E-mail: yangbaomei163@163.com
* 通信作者 Tel: 020-38604958, E-mail: lyaolx@163.com

The contents of Ca, Mg and Zn are positively and significantly correlated with each other. The N content is negatively and significantly correlated with the those of S and B in leaves, and the contents of S and B show significant positive correlation with each other. The content of P exhibits significant negative correlation with Ca and Si, while the contents of Ca and Si are significantly and positively correlated with each other. Under the same N application rate, the yield and planting benefits of litchi are increased at first with the increase of ratio of K_2O to N and then decreased. Litchi has the highest yield and benefit when the ratio of K_2O to N ranges from 1.0 to 1.2. **【Conclusion】**The ratio of K_2O to N ranges from 1.0 to 1.2 is recommended for the main litchi production areas of China.

Key words: litchi; Feizixiao; mineral elements; K_2O/N ratio; yield

荔枝(*Litchi chinensis Sonn.*)为无患子科(*Sapindaceae*)荔枝属(*Litchi*)植物。我国是世界最大的荔枝生产国,荔枝栽培面积和产量约占世界的80%以上[1],但单产常低而不稳,重要原因可能是荔枝园施肥不够合理[2],普遍低氮低钾[3-4],荔枝树体钾营养偏低[5]。目前叶片营养分析诊断法在国内外果树营养研究和生产中已得到广泛应用[6],我国在枣[7]、苹果[8]、脐橙[9]、葡萄[6]、李[10]、葡萄柚[11]等许多果树上已有研究报道,澳大利亚、南非和美国有关于荔枝叶片矿质营养动态的研究报道,但我国此类报道还较少。为此,作者针对荔枝正常生长发育需要量最大的营养元素氮和钾[5],开展了钾、氮不同配比施肥条件下,荔枝叶片养分的动态分析,以荔枝产量为检验标准,以期获得荔枝钾氮配比的平衡施肥参数,为荔枝生产中的施肥管理、营养调控与增产增效提供理论依据和实践指导。

1　材料与方法

1.1　供试材料

试验于2009年7月至2012年6月在广东省惠州市惠东县多祝镇守望果园(23.0290° N, 114.5551°E)进行,供试荔枝是国内主栽品种妃子笑,1995年嫁接苗种植,株行距为5 m×6 m,种植密度为330 plant/hm^2,树冠较为整齐完整,缓坡等高种植。试验园土壤为赤红壤,壤质粘土,土壤pH 4.61、有机质含量8.6 g/kg、碱解氮44.1 mg/kg、铵态氮2.0 mg/kg、硝态氮1.2 mg/kg、速效磷7.9 mg/kg、速效钾73.3 mg/kg、有效钙866.4 mg/kg、有效锰66.1 mg/kg、有效锌0.45 mg/kg、有效硼0.16 mg/kg、有效钼0.08 mg/kg。

1.2　试验设计

试验共设5个处理,钾:氮(K_2O:N)分别为0.6:1、0.8:1、1.0:1、1.2:1、1.4:1,以$K_{0.6}N$、$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$表示,小区面积151.52 m^2,每个处理3次重复,随机区组排列。每小区5株荔枝树,同一年份中各处理N、P_2O_5、Ca、Mg、Zn、B、Mo施用量相同。各处理荔枝全生育期钾、氮养分用量及比例见表1。由于气候及树体长势不同,不同年份的荔枝试验中P_2O_5、Ca、Mg、Zn、B、Mo用量有所不同,见表2。试验肥料为尿素(N 46%)、氯化钾(K_2O 60%)、过磷酸钙(P_2O_5 12%)、熟石灰粉(pH 12.0,Ca 54.5%,)、七水硫酸镁(MgO 16.27%,Mg 9.81%)、七水硫酸锌(CP)、硼砂(CP)和钼酸铵(CP)。

表1　不同年份各处理钾、氮养分用量及比例(kg/hm^2)

Table 1　Potassium and nitrogen fertilizer application rates and ratios in treatments

处理 Treatment	2009～2010			2010～2011			2011～2012			平均 Average
	N	K_2O	K_2O:N	N	K_2O	K_2O:N	N	K_2O	K_2O:N	K_2O:N
$K_{0.6}N$	198	118.8	0.6	128.7	66.0	0.5	165	99	0.6	0.6
$K_{0.8}N$	198	158.4	0.8	128.7	85.8	0.7	165	132	0.8	0.8
$K_{1.0}N$	198	198.0	1.0	128.7	108.9	0.8	165	165	1.0	1.0
$K_{1.2}N$	198	237.6	1.2	128.7	132.0	1.0	165	198	1.2	1.2
$K_{1.4}N$	198	277.2	1.4	128.7	151.8	1.2	165	231	1.4	1.4

1.3 施肥方法

2009至2010年间,荔枝全生育期共施肥4次,依次为采后肥(氮和磷施用量为年周期施肥总量的30%,钾、钙和镁肥为20%,七水硫酸锌、硼砂和钼酸铵为50%)、花前肥(氮、磷、钾、钙和镁肥为20%,七水硫酸锌、硼砂和钼酸铵为50%)、谢花壮果肥(氮、磷、钾、钙和镁肥为20%)和壮果肥(氮和磷肥为30%,钾、钙和镁肥为40%)。

表2 不同年份养分用量(kg/hm^2)

Table 2 Fertilizer application rates in different years

年份 Year	P_2O_5	Ca	Mg	Zn	B	Mo
2009～2010	59.4	26.4	26.4	1.52	1.49	1.62
2010～2011	39.6	13.2	13.2	0	0	0
2011～2012	49.5	33	23.1	1.52	1.12	1.27

2010至2011年间,荔枝全生育期共施肥2次,依次为采后肥(氮和磷肥为年周期施肥总量的62%,钾、钙和镁肥为55%)和谢花壮果肥(氮和磷肥为38%,钾、钙和镁肥为45%)。

2011至2012年间,荔枝全生育期共施肥4次,依次为采后肥(氮肥为年周期施肥总量的45%,钾和镁肥为30%,磷肥、七水硫酸锌、硼砂和钼酸铵为100%)、花前肥(氮、钾和镁肥为10%,钙肥为100%)、谢花壮果肥(氮、钾和镁肥为20%)和壮果肥(氮为年周期施肥总量的25%,钾和镁肥为40%)。

1.4 测定项目与方法

荔枝成熟时,于田间按小区实收称重,计算小区产量,并折算成每hm^2的产量。果实收获时间分别为2010年5月31日至6月8日,2011年6月10日至6月20日,2012年5月28日至6月15日。

在荔枝不同生育期定期采集荔枝叶片,分别于2011年6月20日(采果后当天)、9月5日、10月15日、11月27日、12月23日,2012年2月28日、3月28日、4月24日及5月23日(采果前5 d)取样,共计9次。在荔枝树冠南、西南、西、西北、北、东北、东、东南八个方位分别采集末次秋稍叶片(第2复叶的第2或第3对小叶),每株32～40片,每小区组成混合样。叶片样本经冲洗、杀青、烘干后记录干重,粉碎后用于矿质元素含量分析。氮采用$H_2SO_4-H_2O_2$消煮,蒸馏法[12];磷采用$H_2SO_4-H_2O_2$消煮,钼锑抗比色法[12];钾采用$H_2SO_4-H_2O_2$消煮,火焰光度法[12];钙、镁和锌采用HNO_3-HClO_4消煮,原子吸收分光光度法[12];硫采用HNO_3-HClO_4消煮,比浊法[12];硼采用姜黄素比色法[12];钼采用极谱法[12];硅采用HNO_3-HClO_4消煮,质量法(LY/T 1270-1999)测定。所有项目均用标准物质GBW07603控制测试质量。

1.5 产量稳定性计算

作物产量稳定性是判断农田生态系统质量好坏的重要指标[13]。荔枝产量稳定性用产量稳定性系数(SYI)和变异系数(CV)2个指标衡量。产量稳定性系数(SYI)的计算公式为[14]:

$$SYI = \frac{\bar{Y} - \sigma}{Y\max}$$

式中:$\bar{Y}$为年单位面积的平均产量(kg/hm^2);σ(Sd)为标准差;$Y\max$为所有年份中的最大产量(kg/hm^2)。SYI可以是0～1之间的任何值,当标准差越大时,SYI值将越接近0,SYI值越大则作物产量越稳定[15-16]。

变异系数(CV)也可用于衡量同一品种作物不同年份平均产量之间的变异程度[17],计算公式为$CV = S/\bar{X}$,式中:S为标准差,$\bar{X}$为平均产量(kg/hm^2)。CV越大,说明稳定性越低,可以比较不同处理产量稳定性之间的差异。

用Excel软件进行数据处理,SAS 9.0进行单因素Duncan统计分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 荔枝叶片养分变化动态

2.1.1 荔枝叶片氮、钾、钙、镁含量的变化 在各生育期中荔枝叶片养分中以氮(N)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)含量最高,其顺序为N > K > Ca > Mg(图1)。叶片氮含量始终稳定在较高水平,花芽分化期高于其它生育期,之后随着花穗生长及雌雄花开放,叶片氮含量下降,可能是叶片氮素主要向生殖生长中心转移。叶片钾含量,秋稍老熟期稳定在较高水平;花芽分化至果实膨大初期,叶片钾含量迅速下降,4月份叶片平均含钾量只相当于11月份的65.0%,从叶片中下降的超过1/3的钾素转移目的组织部位可能主要是向生殖生长中心转移,但开春后不排除转移到春梢和春叶的可能性。果实膨大后期,叶片钾含量呈现上升的趋势。6月份采果后,叶片钾含量迅速下降并达到最低值,其机理有待进一步研究。叶片钙含量随荔枝的生长发育整体上呈现

降低—升高—降低的趋势,采果后达到最高值,开花坐果期为次高值。钾与钙表现出明显的消长关系,两者在采果后与果实膨大期含量接近,表明采果后与果实膨大期是荔枝钾、钙养分的关键期。叶片镁含量几乎保持在稳定水平,采果后达到最高。

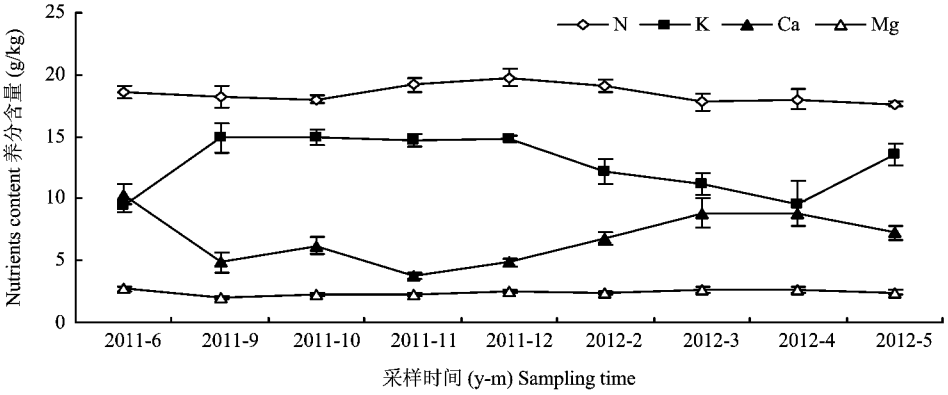

图 1　荔枝叶片氮、钾、钙、镁养分含量的动态变化

Fig. 1　Changing trend of the N, K, Ca and Mg contents in litchi leaves

2.1.2 荔枝叶片磷、硫、硅含量的变化　由图 2 可以看出,在整个生育期,叶片磷(P)、硫(S)含量均表现为 P > S。叶片磷含量在采果后至花芽分化初期呈升高的趋势,花芽分化初期达到最大值,开花坐果期间呈降低的趋势,4 月份叶片平均含磷量只相当于 11 月份的 77.1%,可能与钾含量下降转移变化的原因相似。果实膨大后期至采果前,叶片磷含量明显升高。采果后叶片磷含量达到最低值,与钾一致。磷与硫也表现出明显的消长关系,两者在采果后与果实膨大期含量较为接近,表明果实膨大期与采果后是荔枝磷、硫养分的关键期。叶片中硅含量周年波动性较大,总体趋势是先降低后升高,花芽分化期叶片硅含量迅速增加。

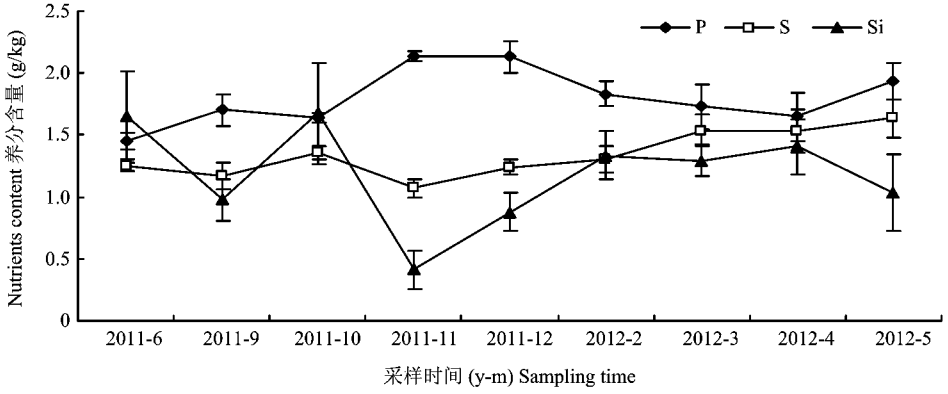

图 2　荔枝叶片磷、硫、硅养分含量的动态变化

Fig. 2　Changing trend of P, S, and Si contents in litchi leaves

2.1.3 荔枝叶片硼、锌、钼含量的变化　各生育期叶片硼(B)、锌(Zn)、钼(Mo)含量的变化趋势见图 3。其含量大小均表现为 B > Zn > Mo。叶片硼含量在秋梢老熟期呈升高—降低的趋势,花芽分化至盛花期叶片硼含量迅速增加,与 11 月份相比,12 月份、2 月份、3 月份荔枝叶片硼含量有不同程度增加;盛花期至果实膨大期,叶片硼含量呈降低的趋势,表明荔枝果实发育前期需消耗一定的硼素,施用硼肥有利于荔枝提高坐果率及果实发育;果实膨大期至采果前,叶片硼含量又呈升高的趋势。叶片锌含量在营养生长阶段随着生育期推移迅速降低,9 月份和 10 月份叶片平均含锌量约相当于 6 月份的 2/3,表明此时需消耗较多的锌元素。生殖生长阶段,叶片锌含量保持在较为稳定的水平。叶片钼含量在整个生

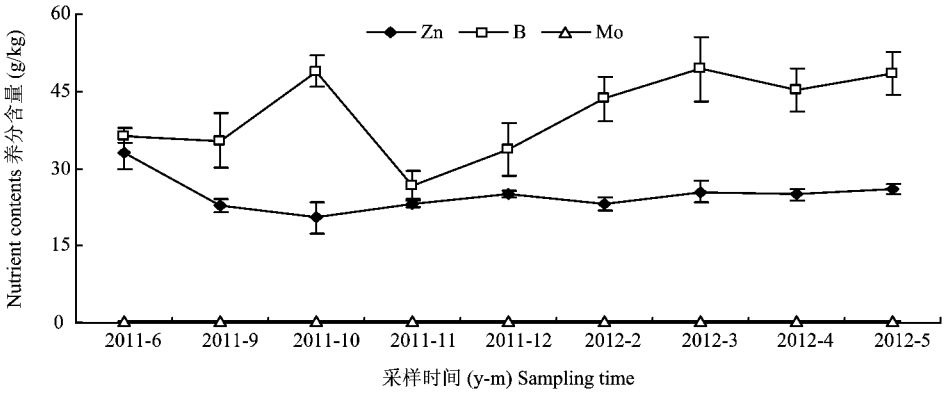

图3 荔枝叶片锌、硼、钼养分含量的动态变化

Fig. 3 Changing trend of Zn, B and Mo contents in litchi leaves

育期为0.18～0.30 mg/kg,稳定在较低水平。

2.1.4 荔枝叶片养分含量间的相互关系 健康生长的植株体内各矿质营养元素都保持着一定的平衡关系,但由于荔枝不同生育期对各矿质营养元素的吸收能力与运输能力存在着一定的差异,这种平衡关系随着植株的生长发育而不断变化。荔枝叶片养分含量的年动态变化比例N∶P∶K∶Ca∶Mg∶S∶Si为1∶0.08～0.11∶0.50～0.83∶0.20～0.56∶0.11～0.15∶0.06～0.09∶0.02～0.09。荔枝叶片不同营养元素间表现出不同程度的相关性(表3)。叶片氮与硫、硼含量呈显著负相关,而硫与硼达到极显著正相关。叶片磷与钙、硅呈显著负相关,而钙与硅呈显著正相关。叶片钾与钙、镁达到极显著负相关,钾与锌呈显著负相关,而钙、镁、锌两两间呈显著正相关。表明,荔枝叶片钾与钙、镁、锌之间存在拮抗作用,而钙、镁、锌两两之间存在协同作用。荔枝叶片氮与硫、硼之间存在拮抗作用,而硫与硼之间存在协同作用。荔枝叶片磷与钙、硅之间存在拮抗作用,而钙与硅之间存在协同作用。

表3 荔枝叶片不同营养元素的相关性(*r*)

Table 3 The correlations between different elements in litchi leaves

元素 Element	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Zn	B	Mo
N	1.0000									
P	0.5477	1.0000								
K	0.2700	0.6289	1.0000							
Ca	-0.4875	-0.7487*	-0.9130**	1.0000						
Mg	-0.0349	-0.2425	-0.8011**	0.7833*	1.0000					
S	-0.7243*	-0.2363	-0.4084	0.5861	0.4680	1.0000				
Si	-0.4331	-0.8659*	-0.5679	0.7529*	0.3868	0.4134	1.0000			
Zn	0.0048	-0.3710	-0.6790*	0.6968*	0.7244*	0.1083	0.2671	1.0000		
B	-0.7385*	-0.4348	-0.3043	0.5429	0.2630	0.8765**	0.6618	-0.1149	1.0000	
Mo	0.1975	-0.2837	0.2017	-0.0056	-0.0783	-0.3418	0.3776	0.0307	-0.0212	1.0000

注(Note): *和**分别表示在0.05和0.01水平差异显著 Indicate significant different at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2 荔枝果实的农艺性状

表4显示,不同处理间荔枝果实单果重及果实的长、宽和高均随着K_2O/N比的提高呈现先增大后下降的趋势,以$K_{1.0}N$或$K_{1.2}N$处理达到最大。且随

着试验时间的延长,不同处理间单果重的差异呈现明显增大的趋势。表明适量配施钾、氮肥可明显提高荔枝果实大小,而 K_2O/N 比过高或过低均使荔枝果实变小。

表 4　不同处理荔枝果实的农艺性状

Table 4　Agronomic characteristics of litchi fruits in various treatments

处理 Treatment	2010	2011			2012
	单果重(g) Single fruit weight	果高(mm) Length	果长轴(mm) Width	果短轴(mm) Height	单果重(g) Single fruit weight
$K_{0.6}N$	30.6 ±1.8 a	36.5 ±1.0 a	35.4 ±0.6 a	33.4 ±0.4 a	27.1 ±1.5 a
$K_{0.8}N$	31.8 ±1.0 a	37.6 ±0.5 a	36.6 ±0.9 a	34.2 ±0.9 a	28.2 ±2.4 a
$K_{1.0}N$	31.7 ±0.6 a	37.5 ±0.2 a	37.2 ±0.4 a	35.0 ±0.3 a	29.3 ±0.8 a
$K_{1.2}N$	33.0 ±0.3 a	37.1 ±0.6 a	36.1 ±0.7 a	34.3 ±0.6 a	30.2 ±0.5 a
$K_{1.4}N$	30.0 ±2.2 a	36.9 ±1.1 a	35.3 ±1.6 a	33.5 ±1.3 a	27.7 ±1.3 a

注(Note):同一列数据后不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters within each column mean significant at 5% level.

2.3　荔枝产量及其种植效益

2010 年荔枝产量 $K_{0.6}N$、$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 处理依次为 7.77、9.38、10.80、9.71、9.60 t/hm^2,$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 处理增产 20.7%、39.0%、25.0%、23.6%。2011 年荔枝 5 个处理产量依次为 9.59、9.99、10.88、12.63、11.19 t/hm^2,$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 增产 4.2%、13.5%、31.7%、16.7%。2012 年荔枝产量依次为 3.36、3.95、4.34、6.03、4.37 t/hm^2,$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 处理分别增产 17.6%、29.2%、79.5%、30.1%。三年荔枝平均产量 5 个处理依次为 6.91、7.77、8.67、9.46、8.39 t/hm^2,$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 处理增产 12.5%、25.6%、26.9%、21.4%。可见,在等氮基础上随着 K_2O/N 比的提高,荔枝产量均出现先升高后降低的规律。对 K_2O/N 比与荔枝果实产量关系进行拟合(图 4),当产量最高时,K_2O/N 为 1.16。对 2012 年荔枝果实产量与单果重的关系进行拟合可知,荔枝果实产量与单果重呈正相关,相关性接近显著水平($r = 0.7869$, $P = 0.0516$)。由此可见,适当提高 K_2O/N 比可增加荔枝产量的原因可能是由于其促进了果实膨大和提高了单果重。整体来看,该试验 2012 年荔枝果实产量并不高,这与该试验点花前一周环割枝条以保果的做法密切相关。环割过迟造成坐果率很低,导致该年试验产量整体较低。

2010 年荔枝种植的利润 $K_{0.6}N$、$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 处理依次为 35250、47190、57840、49290、48255 yuan/hm^2,$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 处理增收 33.9%、64.1%、39.8%、36.9%。2011 年荔枝种植利润依次为 47865、

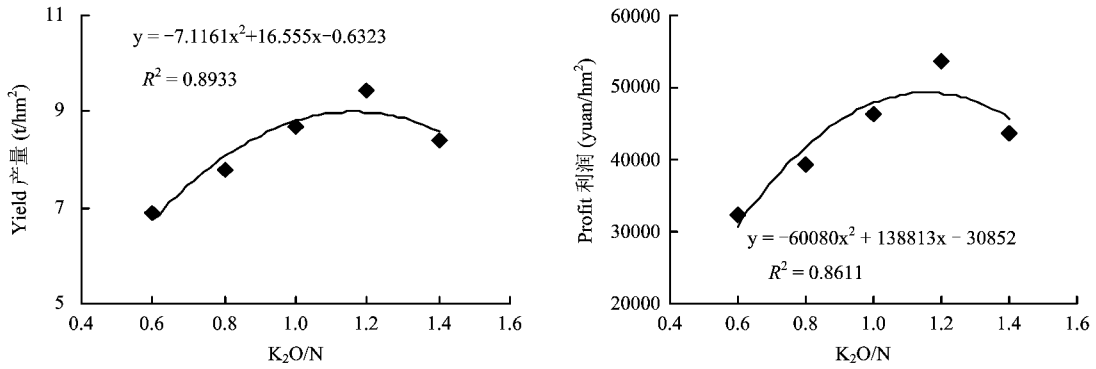

图 4　钾氮肥比例与荔枝果实产量和利润的关系

Fig. 4　Relationship between K_2O/N ratio and litchi fruit yield and profit

50685、56880、69435、58875 yuan/hm^2，$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 处理增收 5.9%、18.8%、45.1%、23.0%。2012 年荔枝种植利润依次为 13740、20100、24105、42585、24015 yuan/hm^2，$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 处理增收 46.3%、75.4%、209.9%、74.8%。三年荔枝平均种植利润依次为 32285、39325、46275、53770、43715 yuan/hm^2，$K_{0.8}N$、$K_{1.0}N$、$K_{1.2}N$、$K_{1.4}N$ 较 $K_{0.6}N$ 处理增收 21.8%、43.3%、66.5%、35.4%。可见，等氮基础上随着 K_2O/N 比的提高，荔枝种植利润均出现先增加后降低的规律。对氮、钾肥比例与荔枝种植利润的关系进行拟合(图 4)，当利润最大时，K_2O/N 为 1.16。荔枝种植利润表现出与产量一致的变化规律。因此，以适当比例施用钾、氮肥，可获得最高产量和最大种植利润。

2.3 荔枝平均产量和累积产量差异分析

分析比较不同施肥处理荔枝产量的稳定性(表 5)看出，不同钾氮比处理之间的产量稳定性存在差异。等氮基础上随着 K_2O/N 比的提高，荔枝产量稳定性系数出现先增加后降低的规律，产量变异系数呈现先下降后升高的规律。$K_{1.2}N$ 处理的稳定性最高，$K_{1.0}N$ 次之，$K_{0.6}N$ 最低。说明，$K_{1.2}N$ 处理条件下的荔枝园土壤生态系统可能更为稳定，有利于提高荔枝园土壤养分供应能力和土壤生态系统的稳定性。

表 5 不同施肥处理荔枝平均产量和稳定性

Table 5 Average yield and yield stability of litchi in different fertilizer treatments

处理 Treatment	平均产量(kg/hm^2) Average yield	最高产量(kg/hm^2) Max. yield	变异系数(%) *CV*	稳定性系数 Stability coefficient
$K_{0.6}N$	6905	9585	46.4	0.39
$K_{0.8}N$	7770	9990	42.8	0.44
$K_{1.0}N$	8670	10875	43.3	0.45
$K_{1.2}N$	9455	12630	35.0	0.49
$K_{1.4}N$	8385	11190	42.6	0.43

2.4 荔枝果实收获期

通常荔枝是以果色作为采收标准。由图 5 可以看出，整体上看，随着 K_2O/N 比的提高，荔枝果实的收获率呈现下降的趋势。K_2O/N 比较低的处理荔枝果实成熟相对较早，K_2O/N 比越高，果实成熟相对较迟。而且，这种规律随试验时间的延长而更为明显。因此，在荔枝生产中，适量配施钾、氮肥有利于果实的集中收获。施用氮肥相对较多时则收获提前，钾肥较多则收获延迟。

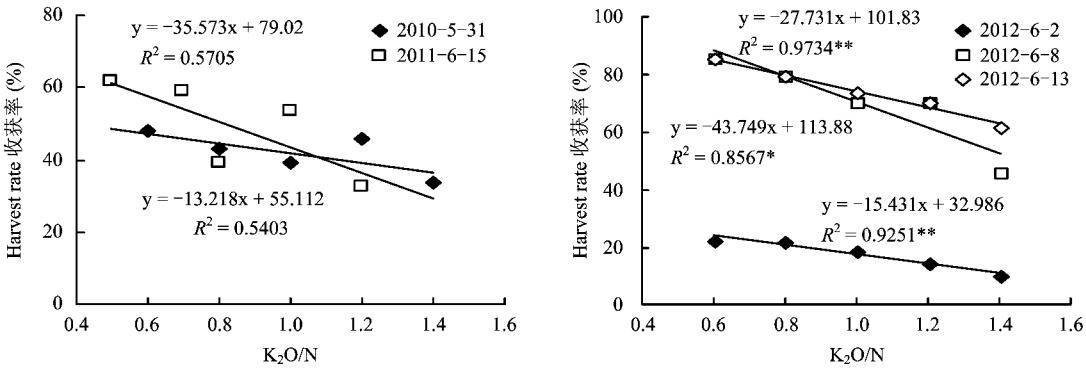

图 5 钾氮肥比例与荔枝果实收获率关系

Fig. 5 Relationship between K_2O/N ratio and litchi fruit harvest rate

3 讨论与结论

钾是果树体内含量最丰富的矿质阳离子，以离子形态存在于细胞质和液泡中，与果树生长发育有着密切联系。与氮、磷等营养元素不同，钾不参与果树体内任何代谢物的组成，但却是果树生命活动中不可缺少的必需元素，是多种酶的活化剂，且参与糖和淀粉的合成、运输与转化[18]。前人研究[19-20]表明，钾能增强荔枝叶片的光合效能，提高当年树体营养积累水平，对次年产量的形成有着重要意义。本研究结果显示，在整个生育期中，采果后荔枝叶片钾含量降至最低值，应通过施用充足的采后钾肥（30% 为宜）以恢复荔枝树体营养，并提高荔枝树体营养贮藏水平，从而促进翌年结果母枝的生长发育。Goldchmidt 等[21]认为，坐果和果实发育需要大量的能量，并可能受可利用的碳水化合物供应的限制。邓义才等[19]认为，荔枝开花和果实发育对碳水化合物的需求十分明显，荔枝果实发育中后期碳水化合物的不足与第 2 次生理落果密切相关并成为影响产量的主要因子。本研究表明，花芽分化至果实膨大初期，叶片钾含量迅速降低，叶片逐渐完成由“库”到“源”的角色转变，向生殖生长中心转移，是吸收钾的关键时期。因此，应通过施用少量的花前钾肥（10% 为宜）及适量的谢花壮果钾肥（20% 为宜）以满足荔枝花芽分化、诱导开花和坐果的需求。且在果实膨大初期应重施壮果钾肥（40% 为宜），以促进荔枝果实膨大、提高产量及改善品质。

钾在果实发育、产量和品质形成、抗逆性及抗病性等方面均有良好的作用[22-23]。研究表明，缺钾导致营养器官组织结构发育不全，叶绿体的光合磷酸化和电子传递能力明显降低，碳同化输出受到阻碍，根系氧化能力下降，产量降低[24]；而增施钾肥，则可延长叶的功能期，提高光合速率，使作物获得显著的增产效果[25]。钾又是碳水化合物合成、运输、转化和储存的必要条件，还具有抑制氮的吸收、调节氮对树体营养生长过旺的作用。本试验结果表明，等氮基础上随着 K_2O/N 的提高，荔枝产量和种植效益均出现先增加后降低的规律，3 年平均果实产量及种植利润拟合均以 K_2O/N 为 1.16 时最高。我国华南地区荔枝主产区，由于春夏荔枝开花坐果期间正处于梅雨季节，光照时间短，光合作用少，而暗呼吸作用时刻都在进行，通过合理施用钾肥能改善树体生理代谢机能和减少无效呼吸消耗，对提高树体碳水化合物积累水平、增加坐果与产量都具有重要作用[20]。因此，鉴于我国荔枝主产区土壤条件差异及年度间产量形成条件的差异，建议我国主产区荔枝园施用钾、氮养分的比例（K_2O : N）保持在 1.0 ～ 1.2 为宜。

参 考 文 献：

[1] 徐玉娟，温靖，肖更生，等. 不同品种荔枝果实加工特性比较研究[J]. 食品科学，2010，31(1)：33-37.
Xu Y J, Wen J, Xiao G S *et al*. Comparative studies of processing characteristics of different litchi varieties [J]. Food Science, 2010, 31(1): 33-37.

[2] 姚丽贤. 我国荔枝养分管理技术应用与需求调研报告[J]. 荔枝科技通讯，2009，(3)：41-54.
Yao L X. Investigation report on the application and demand of national litchi nutrient management technology[J]. Litchi Science Technology Communications, 2009, (3): 41-54.

[3] 李国良，姚丽贤，杨苞梅，等. 广西壮族自治区与福建省荔枝园土壤养分肥力现状研究[J]. 土壤通报，2012，43(4)：873-877.
Li G L, Yao L X, Yang B M *et al*. Soil nutrient fertility in litchi orchards of Guangxi Zhuang Autonomous Region and Fujian Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(4): 873-877.

[4] 李国良，姚丽贤，张政勤，等. 广东荔枝园土壤养分肥力时空变化研究[J]. 土壤通报，2011，42(5)：1081-1086.
Li G L, Yao L X, Zhang Z Q *et al*. Temporal and spatial variation of soil nutrient fertility on Guangdong litchi plantation [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(5): 1081-1086.

[5] 姚丽贤，李国良，杨苞梅，等. 桂味和妃子笑荔枝养分累积特性研究[J]. 荔枝科技通讯，2009，(2)：52-64.
Yao L X, Li G L, Yang B M *et al*. Nutrient accumulation properties of Guiwei and Feizixiao litchi [J]. Litchi Science Technology Communications, 2009, (2): 52-64.

[6] 蒋万峰，崔永峰，张卫东，等. 无核白葡萄叶内矿质元素含量年生长季内的变化[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2005，33(8)：92-95.
Jiang W F, Cui Y F, Zhang W D *et al*. Annual changes of mineral elements in leaf of Thompsons seedless grape [J]. Journal Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2005, 33(8): 92-95.

[7] 张彤彤，徐福利，汪有科，林云. 施用氮磷钾对密植梨枣生长与叶片养分季节动态的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(1)：241-248.
Zhang T T, Xu F L, Wang Y K, Lin Y. Effects of NPK fertilization on growth and seasonal dynamic of leaf nutrients of close planting pear-jujube trees[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(1): 241-248.

[8] 曾艳娟，高义民，同延安. N 肥用量对红富士苹果叶片和新生枝条中 N 营养动态的影响[J]. 西北农林科技大学学报（自然科学版），2011，39(2)：198-201.
Zeng Y J, Gao Y M, Tong Y A. Effect of N supply on the

developments of N in leaves and new branches in"Fuji"apple[J]. Journal Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2011, 39(2): 198-201.

[9] 周开兵, 郭文武, 夏仁学, 等. 不同砧木对脐橙幼树生长和叶片养分含量变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 657-662.
Zhou K B, Guo W W, Xia R X *et al*. Effects of two kinds of rootstock on growth and change of nutrient contents in leaf of young tree of navel orange[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(6): 657-662.

[10] 李鑫, 张丽娟, 刘威生, 等. 李营养累积、分布及叶片养分动态研究[J]. 土壤, 2007, 39(6): 982-986.
Li X, Zhang L J, Liu W S *et al*. Study on nutrient accumulation and distribution in plum tree as well as nutrient dynamic changes in plum leaves[J]. Soils, 2007, 39(6): 982-986.

[11] He Z L, Calvert D V, Alva A K *et al*. Thresholds of leaf nitrogen for optimum fruit production and quality in grapefruit[J]. Soil Science Society of American Journal, 2003, 67(2): 583-588.

[12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
Lu R K. Analysis method in soil agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Scientech Press, 2000.

[13] 门明新, 李新旺, 许皖. 长期施肥对华北平原潮土作物产量及稳定性的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(8): 2339-2346.
Men M X, Li X W, Xu H. Effects of long-term fertilization on crop yields and stability in north China plain fluvo-aquic soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(8): 2339-2346.

[14] Singh R P, Das S K, Bhaskara Rao U M *et al*. Towards sustainable dryland agricultural practices [M]. CRIDA, yderabad, India, 1990.

[15] 马力, 杨林章, 沈明星, 等. 基于长期定位试验的典型稻麦轮作区作物产量稳定性研究[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 117-124.
Ma L, Yang L Z, Shen M X *et al*. Study on crop yield stability in a typical region of rice-wheat rotation based on long-term fertilization experiment[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 117-124.

[16] Sharma K, Mandal U, Srinivas K *et al*. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 83(2): 246-259.

[17] 胡秉民, 耿旭. 作物稳定性分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
Hu B M, Geng X. Methods for crop stability analysis[M]. Beijing: Science Press, 1993.

[18] 涂美艳, 江国良, 杜晋城, 等. 钾素营养对油桃采果期树体营养状况的影响[J]. 北方园艺, 2009, (12): 29-33.
Tu M Y, Jiang G L, Du J C *et al*. Effect of potassium on the tree nutrient status in fruit picking period of nectarine[J]. Northern Horticulture, 2009, (12): 29-33.

[19] 邓义才, 倪耀源, 陈乃荣. 钾素对荔枝光合性能、碳水化合物积累及座果的影响[J]. 华南农业大学学报, 1993, 14(2): 91-95.
Deng Y C, Ni Y Y, Chen N R. Effects of potassium on photosynthetic characteristics, carbohydrate accumulation and fruit-set in litchi[J]. Journal of South China Agricultural University, 1993, 14(2): 91-95.

[20] 邓义才, 倪耀源, 陈乃荣. 钾对荔枝光合作用和呼吸作用的影响[J]. 华南农业大学学报, 1994, 15(4): 80-84.
Deng Y C, Ni Y Y, Chen N R. Studies on the effects of potassium on photosynthesis and respiration of litchi[J]. Journal of South China Agrcultural University, 1994, 15(4): 80-84.

[21] Goldschmidt E, Golomb A. The carbohy-doate balance of alterate-beering citrus trees and the significance of flowering and fruiting[J]. Journal of American Society Horticultural Science, 1982, 107(2): 206-208.

[22] Fallhi E. Ranking tissue mineral analyses to indentify mineral limination on quality in fruit[J]. Journal of American Society Horticultural Science, 1988, 113(3): 282-289.

[23] Yurtseven E, Kesmez G D, ünlükara A. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*)[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78: 128-135.

[24] 于振文, 张炜, 岳寿松, 等. 钾营养对冬小麦光合作用和衰老的影响[J]. 作物学报, 1996, 22(3): 305-312.
Yu Z W, Zhang W, Yue S S *et al*. Effect of potassium on photosynthesis and senescence in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 1996, 22(3): 305-312.

[25] 郑炳松, 程晓建, 蒋德安, 翁晓燕. 钾元素对植物光合速率、Rubisco 和 RCA 的影响[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19(1): 104-108.
Zheng B S, Cheng X J, Jiang D A, Weng X Y. Effect of potassium on photosynthesis, Rubisco and RCA in plant[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2002, 19(1): 104-108.