doi：10.11838/sfsc.1673-6257.20118

专用肥配合种植光叶苕子提高柑橘品质和养分效率

王　鹏[1, 2]，崔　恒[1, 2]，陈　敏[1, 2]，谭启玲[2]，胡承孝[1, 2*]

（1. 园艺植物生物学教育部重点实验室，湖北　武汉　430070；
2. 新型肥料湖北省工程实验室 / 华中农业大学微量元素研究中心，湖北　武汉　430070）

摘　要：研究分析柑橘专用肥减量施用及其配种光叶苕子对柑橘果实产量、品质、养分利用的影响，为柑橘化肥减施、提质增效提供技术和依据。在湖北宜昌秭归、夷陵分别选取伦晚脐橙和温州蜜柑果园，采用田间试验，设置当地习惯施肥（CK）、与习惯施肥氮磷钾养分等量的柑橘专用肥（DL）、按习惯施肥氮磷钾总量减少 25% 的柑橘专用肥（JL）及其配种光叶苕子（JLL）4 个处理，每处理重复 4 次，每重复选择生长一致的 3 ~ 4 棵树，采用常规方法测定土壤、柑橘叶片养分含量、果实产量和品质。试验结果表明：1）与习惯施肥相比，养分等量和减量 25% 的专用肥没有使伦晚脐橙、温州蜜柑果实产量下降；减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子使伦晚脐橙、温州蜜柑产量有提高趋势。2）以每千克氮磷钾养分产出果实产量计肥料养分效率，施用等量、减量 25% 专用肥和专用肥减量 25%+ 配种光叶苕子均有提高每千克氮磷钾果实产量即氮磷钾养分效率的趋势，尤其是减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子明显提高了温州蜜柑养分效率。3）施用养分等量、减量 25% 专用肥和减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子均增加了伦晚脐橙、温州蜜柑果实可溶性固形物、Vc 含量和固酸比，降低了可滴定酸含量，果实品质明显改善。4）减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子，增加了伦晚脐橙柑橘春梢叶片氮、磷含量，降低了两个果园 5 月份土壤速效氮、磷含量和下半年 20 ~ 40 cm 土层速效氮、磷、钾含量。柑橘专用肥提高了柑橘养分效率和果实品质，施用减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子提高了柑橘果实产量品质、养分效率。

关键词：柑橘专用肥；光叶苕子；伦晚脐橙；温州蜜柑；产量；品质；养分效率

我国是世界第一大柑橘生产国[1]，2018 年柑橘产量已达 4138.14 万 t（国家统计局）。为获得更高产量，柑橘园化肥过量施用普遍[2]。过量、不平衡施用化肥不仅影响柑橘果实产量和品质，也对大气、土壤、地表水和地下水等环境安全带来潜在威胁[3]。

化肥过量会严重影响土壤质量，氮肥过量施用易导致硝酸盐累积，土壤酸度增加，土壤有毒物质释放[4-5]；磷肥过量施用易累积，土壤溶液盐浓度上升、渗透压增强，土壤盐渍化程度升高[6]。化肥过量、不平衡施用还极易引发地区生态问题[7]，养分流失量随着化肥投入量增大而增大，污染生态环境的风险就越大[8-9]，特别是超过临界值时流失量剧增[10]，磷肥过量施用成为流域内水体富营养化的主要原因。我国柑橘氮、磷、钾肥过量施用面积占比分别为 57.3%、76.6%、69.1%，氮、磷、钾肥纯养分量分别过量 36.2、42.5、35.5 万 t，减施潜力分别为 28.3%、48.2% 和 29.0%，化肥减量迫在眉睫[11]。

作物专用肥是根据区域土壤肥力状况和作物需肥特性，将氮、磷、钾和中微量元素等营养元素进行科学配比，供指定区域指定作物使用的肥料。许多研究表明作物专用肥能够减少化肥用量[12]、提高养分利用率[12-13]、提高果实产量[14-15]和品质[16-17]。柑橘间作绿肥作为一种先进的柑橘园管理模式已在许多国家广泛应用，果园种植绿肥可以提高土壤有机质含量[18-19]，改善土壤理化性状，提高土壤保肥能力[20-21]，显著降低养分流失[22]。果园绿肥还能够调节土壤微域环境，为微生物繁衍提供优良条件，提高土壤微生物数量及土壤酶活性[23-25]，活化土壤养分，提高养分有效性。但是有关柑橘园施用专用肥配套种植绿肥用于减少化肥用量，提高果实产量品质及肥料养分效率的研究不多。因此，本文采用田间试验，研究分析专用肥以

收稿日期：2020-03-10；**录用日期：**2020-06-08

基金项目：柑橘化肥农药减施技术集成研究与示范项目（2017YFD0202000）。

作者简介：王鹏（1994-），男，山东潍坊人，硕士研究生，研究方向为柑橘果实品质与营养。E-mail：1137809598@qq.com。

通讯作者：胡承孝，E-mail：hucx@mail.hzau.edu.cn。

及专用肥 + 配种光叶苕子对柑橘果实产量、品质以及养分利用的影响，为柑橘园化肥减施、提质增效提供技术和依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料与设计

2017 ~ 2018 年，试验设在湖北省宜昌市夷陵区柑橘示范场和秭归县郭家坝镇烟灯堡村，夷陵区柑橘示范场果园土壤有机质含量 24.2 g/kg、碱解氮 99.8 mg/kg、有效磷 32.1 mg/kg、速效钾 151.3 mg/kg，试验材料为 28 年生枳壳砧温州蜜柑；秭归县郭家坝镇烟灯堡村果园土壤有机质含量 13.2 g/kg、碱解氮 40.2 mg/kg、有效磷 12.3 mg/kg、速效钾 247.5 mg/kg，试验材料为 7 年生枳壳砧伦晚脐橙。

试验设当地习惯施肥（CK）、与习惯施肥氮磷钾养分等量的柑橘专用肥（DL）、按习惯施肥氮磷钾总量减少 25% 的柑橘专用肥（JL）及其配种光叶苕子（JLL）4 个处理，每个处理 4 次重复，每个重复选择树势一致、无病虫害、结果正常树 3 株。温州蜜柑于每年 3 月和 7 月两次施肥，伦晚脐橙于每年 4 月和 9 月两次施肥，第 1 次肥料用量占 60%。伦晚脐橙习惯施肥为当地购买的 18–9–18 复合肥，温州蜜柑习惯施肥为当地购买的 15–15–15 复合肥以及尿素；柑橘专用肥（15–7–13，含腐植酸、硼、镁等）由本团队研发、湖北宜施壮农业科技有限公司生产，各处理氮磷钾养分施用量见表 1。光叶苕子于 2017 年 2 月播种，播种量为 90 kg/hm^2，6 月自然枯死覆土。

表 1　试验各处理氮磷钾施用量　（kg/株）

处理	养分施入量			
	N	P_2O_5	K_2O	总量
CK（温州蜜柑）	0.53	0.30	0.30	1.13
CK（伦晚脐橙）	0.45	0.23	0.45	1.13
DL	0.48	0.23	0.42	1.13
JL	0.37	0.17	0.32	0.86
JLL	0.37	0.17	0.32	0.86

1.2　样品采集与制备

1.2.1　土壤样品采集与制备

采集：在选定的柑橘树以树干为圆点向外延伸到树冠边缘的 2/3 处采集，每株对角采 2 点，避开施肥穴。采样深度为 0 ~ 20 和 20 ~ 40 cm，用铲先铲出一个土层断面，再平行于断面取土。每个采样点的取土深度及采样量保持均匀一致，土样上层与下层的比例要相同。所有样品均采用不锈钢取土器采集，采集的土样经充分混匀后按照“四分法”取 1 kg 左右备用。

制备：将野外采回的土壤样品及时放在样品盘上，摊成薄薄一层，置于干净的室内通风处自然风干，严禁暴晒，并注意防止酸碱及灰尘的污染。风干过程中经常翻动并将大块土捏碎以加速干燥。将风干后的样品平铺在制样板上，用木棍或木锤碾压，并将植物残体、石块等侵入体和新生体剔除干净。过 0.83 mm 孔径筛，未通过的土粒重新碾压，直至全部样品通过 0.83 mm 孔径筛，充分混匀后装入样品袋中备用，供土壤速效养分的测定。

1.2.2　叶片样品采集与制备

采集：在选定的柑橘树树冠中部外侧的 4 个方位采集生长中等的当年生春梢营养枝顶部向下第 3 叶（完整无病虫），每株采集 30 片叶，3 株柑橘树为一个样品。采样时间为 8：00 ~ 10：00。

制备：先将中性洗涤剂配成 0.1% 的水溶液，再将叶片置于其中洗涤 30 s，取出后尽快用清水冲掉洗涤剂，再用 0.2% HCl（去离子水）溶液洗涤约 30 s，然后用去离子水洗净。整个操作必须在 2 min 内完成，以避免某些养分的损失。洗净的叶片用滤纸吸去水分，先置于 105 ℃鼓风干燥箱中杀酶 30 min，然后保持在 75 ~ 80 ℃条件下恒温烘干。烘干的样品从烘箱取出冷却后轻轻搓碎，然后在不锈钢粉碎机中磨细，装袋，备用。

1.2.3　果实样品采集与制备

采集与制备：柑橘果实成熟后，在树冠外围 4 个方位采集大小中等无病虫害的果实，每株采集 8 个果实，3 株柑橘树为一个样品。采集后的样品及时将果皮洗净并尽快进行品质测定。

1.3　测定方法

土壤有效养分及植物叶片养分含量按照常规方法测定[26]，果实单果重测定采用普通电子天平，可溶性固形物的测定采用手持数显糖量计（日本，PAL–1），可滴定酸测定采用氢氧化钠中和滴定法，维生素 C 的测定采用 2，6– 二氯靛酚氧化还原滴定法[27]，固酸比（%）= 可溶性固形物 / 可滴定酸 ×100，产量 = 果实数 × 单果重。

1.4　数据分析

利用 Excel 2007 进行数据处理，SPSS 20.0 进行统计分析，Duncan 法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　专用肥配合种植光叶苕子对柑橘果实产量和品质的影响

对伦晚脐橙，养分等量专用肥、减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子处理果实产量较习惯施肥均有增加的趋势，减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子处理果实产量较减量 25% 专用肥处理有增加的趋势（表 2）。对温州蜜柑，养分等量专用肥、减量 25% 专用肥及其配种光叶苕子处理果实产量较习惯施肥均有增加的趋势，减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子处理果实产量较减量 25% 专用肥处理有增加的趋势。由此说明，养分等量专用肥对伦晚脐橙、温州蜜柑有一定增产作用；施用养分减量 25% 专用肥没有引起柑橘产量的显著性下降，而配种光叶苕子对伦晚脐橙、温州蜜柑有增产的趋势。

以每千克氮磷钾养分总量的果实产量来计养分效率。养分等量专用肥、减量 25% 专用肥及其配种光叶苕子处理伦晚脐橙果实养分效率较习惯施肥均出现了上升趋势；减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子处理果实养分效率较减量 25% 专用肥处理有增加的趋势。相应地温州蜜柑果实养分效率较习惯施肥也出现了上升的趋势，其中减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子处理较习惯施肥差异显著，增加了 60.6%；减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子处理果实养分效率较养分减量 25% 专用肥处理有增加的趋势。因此，养分等量和减量 25% 的专用肥均有提高伦晚脐橙、温州蜜柑每千克氮磷钾养分的果实产量的趋势，专用肥减量 25%+ 配种光叶苕子处理的增幅更大，在温州蜜柑中果实养分效率明显提高。

对伦晚脐橙，养分等量专用肥与习惯施肥相比可滴定酸含量下降了 17.0%，固酸比含量增加了 20.1%，Vc 含量增加了 9.3%，可溶性固形物含量也有上升趋势；减量 25% 专用肥及其配种光叶苕子处理与习惯施肥比，Vc 含量分别增加了 10.2%、11.5%，可溶性固形物、固酸比有上升的趋势，可滴定酸出现下降的趋势；在温州蜜柑园，等量专用肥以及减量 25% 专用肥及其配种光叶苕子果实可溶性固形物、固酸比、Vc 含量较习惯施肥也出现了增加的趋势，果实可滴定酸出现下降趋势，各处理间差异不显著。所以，养分等量和减量 25% 专用肥及其配种光叶苕子可以不同程度地改善伦晚脐橙、温州蜜柑果实品质。

表 2　专用肥配种光叶苕子对柑橘果实产量和品质的影响

品种	处理	产量（kg/株）	每千克 NPK 养分果实产量（kg）	可溶性固形物（%）	可滴定酸（%）	固酸比（%）	Vc（mg/100 g）
伦晚脐橙	CK	40.63 ± 7.02a	35.95 ± 6.21a	10.33 ± 0.19a	0.47 ± 0.03a	22.64 ± 0.40b	45.77 ± 0.40b
	DL	43.50 ± 3.44a	38.50 ± 3.04a	10.80 ± 0.21a	0.39 ± 0.01b	27.19 ± 0.46a	50.01 ± 0.23a
	JL	37.13 ± 4.72a	43.17 ± 5.48a	10.49 ± 0.20a	0.42 ± 0.03ab	25.34 ± 2.03ab	50.44 ± 0.90a
	JLL	44.62 ± 0.59a	51.89 ± 0.68a	10.63 ± 0.18a	0.42 ± 0.01ab	25.67 ± 0.41ab	51.04 ± 0.63a
温州蜜柑	CK	49.29 ± 4.22a	43.61 ± 3.73b	8.17 ± 0.19a	0.42 ± 0.02a	19.55 ± 1.14a	21.56 ± 0.60a
	DL	53.71 ± 9.40a	47.53 ± 8.32ab	8.29 ± 0.33a	0.38 ± 0.02a	21.97 ± 0.34a	23.95 ± 1.84a
	JL	58.79 ± 9.44a	68.36 ± 10.97ab	8.20 ± 0.25a	0.41 ± 0.02a	21.67 ± 1.60a	23.17 ± 1.76a
	JLL	60.24 ± 5.27a	70.04 ± 6.13a	8.90 ± 0.26a	0.41 ± 0.02a	21.76 ± 1.69a	25.16 ± 0.51a

注：同列不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），下同。

2.2　专用肥配合种植光叶苕子对柑橘园土壤、叶片氮磷钾含量的影响

2.2.1　专用肥配合种植光叶苕子对柑橘园土壤、叶片氮含量的影响

伦晚脐橙、温州蜜柑叶片氮含量随季节和施肥处理的变化互不相同（表 3）。伦晚脐橙叶片氮含量以 7 月份较高，其次为 9 月份，5 月份较低，这与果实晚采而施肥期推延是一致的；处理间叶片氮含量 5、7 月份均存在显著差异，9 月份差异不显著。养分等量、减量 25% 的专用肥及其配种光叶苕子处理较习惯施肥处理的伦晚脐橙果树 5 月份叶片氮含量依次提高 9.2%、15.2%、19.0%，7 月份也有一定程度的提升，其中减量 25% 专用肥 + 配种光叶苕子提高了 9.3%，意味着养分等量、减量

25% 的专用肥都一定程度提高了伦晚脐橙叶片氮含量，配种光叶苕子可进一步提高叶片氮含量。温州蜜柑叶片氮含量从 5 月到 9 月逐步下降，9 月份含量较低；处理间叶片氮含量 5、7 月份均无显著差异，9 月份差异显著，其养分等量、减量 25% 的专用肥与习惯施肥处理叶片氮含量无显著差异，减量 25% 的专用肥 + 配种光叶苕子处理较减量 25% 的专用肥处理果树叶片氮含量提高了 10.3%，即养分等量、减量 25% 的专用肥没有降低温州蜜柑叶片氮含量，而配种光叶苕子能够显著提高其 9 月叶片氮含量。综上所述，施用等量专用肥以及减量 25% 的专用肥并没有降低伦晚脐橙、温州蜜柑叶片氮含量，配种光叶苕子则提高了伦晚脐橙 5、7 月份叶片和温州蜜柑 9 月份叶片氮含量；两地柑橘园叶片氮含量反应的差异可能与施肥时间、土壤氮供应不同有关，尤其是秭归伦晚脐橙柑橘园土壤碱解氮含量明显低于夷陵温州蜜柑园土壤。

秭归伦晚脐橙园土壤碱解氮含量从 5 月到 9 月逐步下降，9 月份含量最低；5 月份差异显著（表 3）。养分等量、减量 25% 的专用肥与习惯施肥处理相比土壤碱解氮含量无显著差异，但减量 25% 的专用肥 + 配种光叶苕子较习惯施肥、减量 25% 的专用肥处理土壤碱解氮含量出现下降趋势，处理间 7、9 月土壤碱解氮含量差异不显著，意味着养分等量、减量 25% 的专用肥没有降低伦晚脐橙园土壤碱解氮供应，配种光叶苕子能够显著降低伦晚脐橙园 5 月土壤碱解氮供给但并没有降低 7、9 月土壤碱解氮含量。温州蜜柑园土壤碱解氮含量从 5 月到 9 月逐步上升，9 月份最高；处理间土壤碱解氮含量 5、9 月份差异显著而 7 月份差异不显著，养分等量、减量 25% 的专用肥及其配种光叶苕子的土壤碱解氮含量 5 月份较习惯施肥处理依次增加了 13.2%、3.8%、–19.2%，9 月份减量 25% 的专用肥 + 配种光叶苕子处理的土壤碱解氮含量较习惯施肥、减量 25% 的专用肥处理分别提高 21.8%、23.8%，即养分等量、减量 25% 的专用肥没有降低温州蜜柑园土壤碱解氮含量，而配种光叶苕子显著降低 5 月份土壤碱解氮含量，显著增加 9 月份土壤碱解氮含量。综上所述，施用等量专用肥以及减量 25% 的专用肥不会降低伦晚脐橙、温州蜜柑果园土壤碱解氮含量，而配种光叶苕子则降低了伦晚脐橙、温州蜜柑 5 月份土壤碱解氮含量，增加了温州蜜柑 9 月份土壤碱解氮含量；两种柑橘土壤碱解氮含量反应的差异可能与施肥时间、土壤基础肥力不同有关。

表 3　专用肥配种光叶苕子对柑橘园土壤、叶片氮含量的影响

	品种	处理	5 月	7 月	9 月
叶片全氮含量（%）	伦晚脐橙	CK	1.84 ± 0.01c	2.36 ± 0.05b	2.20 ± 0.07a
		DL	2.01 ± 0.02b	2.43 ± 0.05ab	2.18 ± 0.04a
		JL	2.12 ± 0.10ab	2.45 ± 0.05ab	2.10 ± 0.11a
		JLL	2.19 ± 0.03a	2.58 ± 0.02a	2.15 ± 0.07a
		均值	2.04	2.46	2.16
	温州蜜柑	CK	2.75 ± 0.08a	2.61 ± 0.04a	2.45 ± 0.03ab
		DL	2.68 ± 0.04a	2.57 ± 0.07a	2.42 ± 0.02ab
		JL	2.66 ± 0.09a	2.50 ± 0.01a	2.33 ± 0.08b
		JLL	2.72 ± 0.02a	2.64 ± 0.04a	2.57 ± 0.03a
		均值	2.70	2.58	2.44
土壤碱解氮含量（mg/kg）	伦晚脐橙	CK	80.06 ± 4.76ab	80.42 ± 6.85a	61.80 ± 6.48a
		DL	87.50 ± 5.67a	78.59 ± 3.11a	61.48 ± 3.12a
		JL	83.56 ± 2.30ab	75.08 ± 6.25a	52.73 ± 1.33a
		JLL	71.17 ± 5.09b	67.52 ± 2.76a	60.14 ± 2.57a
		均值	80.57	75.40	59.04
	温州蜜柑	CK	102.38 ± 2.72b	120.00 ± 9.77a	131.87 ± 8.62b
		DL	115.94 ± 3.06a	115.20 ± 4.09a	143.15 ± 9.50ab
		JL	106.31 ± 0.84ab	113.81 ± 1.08a	129.69 ± 4.39b
		JLL	82.69 ± 6.72c	134.63 ± 3.01a	160.60 ± 10.01a
		均值	101.83	120.91	141.33

2.2.2　专用肥配合种植光叶苕子对柑橘园土壤、叶片磷含量的影响

伦晚脐橙、温州蜜柑叶片磷含量随季节变化相同，即从5月到9月逐步下降，9月份含量较低，处理间伦晚脐橙叶片磷含量5、7月份存在显著差异，而9月份差异不显著（表4）。养分等量、减量25%的专用肥较习惯施肥处理的果树叶片磷含量5月有增加的趋势，减量25%的专用肥+配种光叶苕子较习惯施肥增加了9.5%，7月份减量25%的专用肥+配种光叶苕子较减量25%的专用肥处理的果树叶片磷含量有下降的趋势，减量25%的专用肥+配种光叶苕子较习惯施肥下降了12.6%，即养分等量、减量25%的专用肥都一定程度提高了5月份伦晚脐橙叶片磷含量，配种光叶苕子可以进一步提高5月份叶片磷含量而降低7月份叶片磷含量。处理间5、7、9月份温州蜜柑叶片磷含量均无显著差异，而减量25%的专用肥+配种光叶苕子较习惯施肥、减量25%的专用肥处理5、7月份叶片磷含量有提高趋势，说明养分等量、减量25%专用肥没有降低温州蜜柑叶片磷含量，配种光叶苕子有提高5、7月叶片磷含量的趋势。综上所述，等量、减量25%的专用肥不会降低伦晚脐橙、温州蜜柑叶片磷含量，配种光叶苕子对伦晚脐橙、温州蜜柑5、7月份叶片磷含量有一定影响。

伦晚脐橙园土壤有效磷含量以7月份较高，5月份次之，9月份最低；处理间5、7月差异显著，而9月份差异不显著（表4）。养分等量、减量25%的专用肥处理土壤有效磷含量与习惯施肥无显著差异，养分减量25%的专用肥+配种光叶苕子较习惯施肥、养分减量的专用肥处理5月份土壤有效磷含量分别降低44.0%、41.2%，7月份分别降低39.9%、25.6%，即养分等量、减量25%的专用肥没有降低伦晚脐橙园土壤有效磷含量，但配种光叶苕子显著降低了5、7月土壤有效磷含量。温州蜜柑园土壤有效磷含量从5月到9月逐步上升，9月份最高，与伦晚脐橙园明显不同；处理间5、7、9月份土壤有效磷含量均无显著差异，但养分减量25%的专用肥+配种光叶苕子5月份土壤有效磷含量较习惯施肥、养分减量的专用肥处理有下降的趋势，说明配种光叶苕子一定程度降低了5月份土壤有效磷含量。综上所述，养分等量、减量25%的专用肥没有降低伦晚脐橙、温州蜜柑园土壤有效磷含量，但配种光叶苕子则降低了伦晚脐橙园5、7月和温州蜜柑园5月土壤有效磷含量，而9月份差异不大。

表4　专用肥配种光叶苕子对柑橘园土壤、叶片磷含量的影响

	品种	处理	5月	7月	9月
叶片全磷含量（%）	伦晚脐橙	CK	0.210 ± 0.006b	0.199 ± 0.008a	0.136 ± 0.005a
		DL	0.223 ± 0.005ab	0.179 ± 0.006ab	0.144 ± 0.005a
		JL	0.215 ± 0.010ab	0.185 ± 0.005ab	0.134 ± 0.004a
		JLL	0.230 ± 0.004a	0.174 ± 0.002b	0.138 ± 0.006a
		均值	0.219	0.184	0.138
	温州蜜柑	CK	0.241 ± 0.009a	0.157 ± 0.010a	0.152 ± 0.002a
		DL	0.252 ± 0.001a	0.161 ± 0.006a	0.145 ± 0.005a
		JL	0.246 ± 0.006a	0.150 ± 0.008a	0.137 ± 0.001a
		JLL	0.248 ± 0.002a	0.161 ± 0.002a	0.153 ± 0.001a
		均值	0.247	0.157	0.147
土壤有效磷含量（mg/kg）	伦晚脐橙	CK	52.58 ± 2.27a	59.27 ± 4.79a	26.69 ± 4.23a
		DL	52.58 ± 4.95a	61.39 ± 5.91a	22.24 ± 3.69a
		JL	50.06 ± 5.26a	47.93 ± 4.79ab	15.95 ± 2.58a
		JLL	29.44 ± 2.19b	35.65 ± 4.76b	21.75 ± 1.74a
		均值	46.17	51.06	42.15
	温州蜜柑	CK	27.86 ± 5.24a	43.44 ± 15.59a	56.69 ± 11.50a
		DL	46.28 ± 13.76a	41.87 ± 5.98a	56.71 ± 13.37a
		JL	36.13 ± 7.96a	42.98 ± 5.12a	46.84 ± 3.04a
		JLL	23.30 ± 1.67a	47.70 ± 7.08a	56.25 ± 9.74a
		均值	33.39	44.00	54.12

2.2.3　专用肥配合种植光叶苕子对柑橘园土壤、叶片钾含量的影响

伦晚脐橙、温州蜜柑叶片钾含量随季节的变化有所不同（表5）。伦晚脐橙叶片钾含量从5月到7月下降，7月到9月份保持稳定；温州蜜柑叶片钾含量从5月到7月下降，7月到9月上升。处理间各月份伦晚脐橙、温州蜜柑叶片钾含量均无显著性差异，即养分等量、减量25%的专用肥及其配种光叶苕子没有对伦晚脐橙、温州蜜柑叶片钾含量产生显著影响，这可能与两个柑橘园土壤速效钾含量丰富有关。

伦晚脐橙、温州蜜柑土壤速效钾含量随季节的变化相同（表5），且月份间土壤速效钾含量均保持平稳，说明养分等量、减量25%的专用肥及其配种光叶苕子同样没有对伦晚脐橙、温州蜜柑园土壤速效钾含量产生显著影响，5 ~ 9月份土壤速效钾含量也变化不大。

表5　专用肥配种光叶苕子对柑橘园土壤、叶片钾含量的影响

	品种	处理	5月	7月	9月
叶片全钾含量（%）	伦晚脐橙	CK	1.63 ± 0.03a	1.30 ± 0.07a	1.28 ± 0.04ab
		DL	1.65 ± 0.06a	1.29 ± 0.03a	1.42 ± 0.05a
		JL	1.50 ± 0.07a	1.20 ± 0.03a	1.11 ± 0.01b
		JLL	1.66 ± 0.03a	1.29 ± 0.03a	1.33 ± 0.06a
		均值	1.61	1.27	1.28
	温州蜜柑	CK	1.10 ± 0.05a	0.82 ± 0.04a	0.93 ± 0.19a
		DL	1.07 ± 0.04a	0.83 ± 0.04a	1.10 ± 0.11a
		JL	1.12 ± 0.04a	0.80 ± 0.02a	1.02 ± 0.17a
		JLL	1.06 ± 0.00a	0.77 ± 0.04a	1.01 ± 0.12a
		均值	1.09	0.80	1.01
土壤速效钾含量（mg/kg）	伦晚脐橙	CK	310.75 ± 28.36a	340.39 ± 24.46a	362.28 ± 24.84a
		DL	353.59 ± 32.52a	341.98 ± 14.19a	352.69 ± 33.51a
		JL	381.95 ± 19.49a	348.40 ± 14.46a	384.58 ± 45.60a
		JLL	349.88 ± 13.80a	371.83 ± 54.69a	397.31 ± 10.64a
		均值	349.04	350.65	374.21
	温州蜜柑	CK	143.64 ± 13.83a	157.67 ± 19.76a	136.14 ± 16.95a
		DL	146.13 ± 11.80a	131.64 ± 9.93a	158.89 ± 23.97a
		JL	163.79 ± 10.33a	136.48 ± 10.95a	172.49 ± 2.68a
		JLL	137.83 ± 3.56a	127.75 ± 2.71a	159.92 ± 10.54a
		均值	147.85	138.38	156.86

2.2.4　专用肥配合种植光叶苕子对柑橘园11月份不同土层速效氮磷钾含量的影响

在秭归伦晚脐橙园，养分等量、减量25%的专用肥及其配种光叶苕子处理0 ~ 20 cm土壤碱解氮、速效钾含量有增加的趋势，各处理间差异不显著（表6）；而减量25%的专用肥及其配种光叶苕子处理使20 ~ 40 cm土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量均出现了下降，其中碱解氮含量下降显著，较习惯施肥分别降低了16.1%、37.2%。由此说明，施用等量、减量25%专用肥并没有显著降低表层土壤速效氮磷钾含量，而使土壤速效氮钾有所增加，减量25%施用柑橘专用肥使深层土壤速效氮磷钾含量下降，特别是减量25%的专用肥+配种光叶苕子使表层土壤速效氮磷钾有所增加，深层土壤氮磷钾有所下降。

在温州蜜柑园（表7），养分等量处理0 ~ 20 cm土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量出现了上升的趋势，减量25%的专用肥未引起0 ~ 20 cm土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量明显变化，减量25%的专用肥+配种光叶苕子处理使0 ~ 20 cm土壤碱解氮含量显著增加了26.3%，有效磷和速效钾含量也出现了上升的趋势；减量25%专用肥及其配种光

叶苕子比养分等量专用肥处理 20 ~ 40 cm 土壤碱解氮、有效磷下降，土壤速效钾含量分别显著下降了 28.1%、32.8%。因此，养分等量的专用肥有使表层土壤速效氮磷钾明显增加的趋势，减量 25% 的专用肥没有使表层土壤速效氮磷钾明显下降，却使深层土壤速效氮磷钾下降明显，而减量 25% 的专用肥 + 配种光叶苕子则增加了表层土壤速效氮磷钾含量，同时使深层土壤速效氮磷钾含量下降。

表 6　专用肥配种光叶苕子对伦晚脐橙 11 月份两个土层速效氮磷钾含量的影响（mg/kg）

土层（cm）	处理	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量
0 ~ 20	CK	42.79 ± 3.92a	13.87 ± 2.38a	189.79 ± 14.01a
	DL	47.67 ± 8.88a	15.99 ± 3.40a	225.93 ± 29.98a
	JL	45.18 ± 5.31a	12.18 ± 0.79a	224.44 ± 22.06a
	JLL	44.17 ± 4.60a	17.13 ± 3.27a	232.97 ± 23.92a
20 ~ 40	CK	35.12 ± 2.81a	11.37 ± 2.20a	140.80 ± 19.23a
	DL	39.19 ± 7.42a	12.30 ± 2.77a	156.36 ± 17.74a
	JL	29.45 ± 2.24ab	9.70 ± 1.43a	123.90 ± 6.49a
	JLL	22.05 ± 1.19b	7.73 ± 0.58a	133.41 ± 17.41a

表 7　专用肥配种光叶苕子对温州蜜柑 11 月份两个土层速效氮磷钾含量的影响（mg/kg）

土层（cm）	处理	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量
0 ~ 20	CK	96.83 ± 5.01b	53.60 ± 6.63a	149.77 ± 9.78a
	DL	105.94 ± 5.19ab	57.77 ± 6.54a	200.60 ± 10.87a
	JL	96.74 ± 6.63b	47.60 ± 7.14a	159.15 ± 22.12a
	JLL	122.31 ± 5.37a	57.28 ± 9.59a	191.32 ± 13.10a
20 ~ 40	CK	—	—	—
	DL	82.52 ± 10.27a	47.99 ± 12.97a	176.46 ± 18.10a
	JL	70.02 ± 3.87a	39.34 ± 6.94a	126.79 ± 9.67b
	JLL	73.49 ± 15.83a	31.86 ± 8.73a	118.57 ± 8.82b

3　讨论与结论

本文施用的柑橘专用肥按照“以果定肥、因土补肥、依树调肥”的技术思路研制，即根据果实目标产量确定氮、磷、钾等比例、用量，根据土壤测定结果补充缺乏元素，根据柑橘叶片养分和果实品质测定结果、树势、树龄等调节养分配比；将施肥技术融入肥料加工工艺，配制生产含有机质（腐植酸）、中微量元素且氮、磷、钾比例适宜的柑橘专用肥，如本试验采用的 15–7–13 柑橘专用肥适用于秭归区域。

研究结果说明，与习惯施肥相比，氮磷钾等量的专用肥对伦晚脐橙、温州蜜柑有增产作用，但没有达到显著差异水平，减量 25% 专用肥处理没有减产，而等量尤其是减量 25% 的专用肥都明显提高每千克氮磷钾养分的果实产量即肥料效率。养分等量和减量 25% 的专用肥可以不同程度地使伦晚脐橙、温州蜜柑果实可溶性固形物、Vc 含量及固酸比提高、可滴定酸含量下降而品质改善；黄瓜[28]、小白菜[29]等蔬菜类作物以及红李[30]、皇冠梨[31]等果树类作物也有类似报道。本研究还发现，施用等量尤其是减量 25% 的专用肥并没有降低伦晚脐橙、温州蜜柑 5、7、9 月份叶片氮、磷、钾含量以及 5、7、9、11 月份果园表层土壤速效氮、磷、钾含量，但减量 25% 的专用肥使伦晚脐橙、温州蜜柑园 11 月份深层（20 ~ 40 cm）土壤速效氮、磷、钾含量出现下降趋势，即减量施肥显著控制了土壤氮磷钾迁移到深层土壤而流失。因此，推广施用作物专用肥既有利于适度减少化肥用量和提高肥料养分效率，也有利于作物稳产、增产和品质改善。

生草作为现代果园土壤管理模式之一，在欧美、日本等地得到广泛应用[32]。但是有研究发现种植绿肥前期旺长阶段需要消耗土壤养分而导致土壤有效养分含量的下降[33–34]，本文的结果也显示，减量 25% 的专用肥 + 配种光叶苕子导致前期土壤速效氮、磷、钾含量下降，光叶苕子凋萎后翻压入土，后期土壤速效氮、磷、钾含量回升，而深层（20 ~ 40 cm）土壤速效氮、磷、钾含量下降；尤其是柑橘春梢叶片氮、磷、钾含量并没有降低而是有上升趋势，因此光叶苕子既能够增强土壤保肥能力，也能够活化养分增强土壤供肥能力，协调土壤保肥供肥关系。侣国涵等[21]也报道果园间作光叶苕子能够提高土壤保肥能力。此外，减量 25% 的专用肥 + 配种光叶苕子提高了伦晚脐橙、温州蜜柑果实产量和每千克果实养分产量即养分效率，并改善果实品质。陈波浪等[35]在甜瓜，张晓琪等[36]在小麦上也有类似报道。因此，结合减量施用柑橘专用肥 + 配种光叶苕子更有利于化肥减量施用条件下柑橘提质、增效，也有利于养分高效利用和增强土壤保肥供肥能力。

在本研究中，施用减量 25% 的专用肥减少了

土壤养分迁移到深层而流失，表层的土壤养分含量并未出现下降，因此并未影响树体对养分的吸收，叶片中的养分含量也未出现下降，所以养分减量25%的情况下并未出现明显减产。专用肥减量25%后配种光叶苕子虽然降低了两个果园前期的土壤养分含量，但随着绿肥的覆土还田，果园土壤养分含量上升，绿肥的种植还降低了土壤养分的流失，因此11月份土壤养分含量甚至高于当地的习惯施肥。绿肥的种植活化了土壤养分，增加了树体对养分的吸收利用，叶片的养分含量明显提高，因此果实产量出现了一定程度的提高。

因此，建议大力推广应用柑橘专用肥，尤其是减量施用柑橘专用肥配合种植光叶苕子或绿肥。

参考文献：

［1］ 汪小银．中国柑橘市场预警研究［D］．武汉：华中农业大学，2013.

［2］ 周鑫斌，温明霞，王秀英，等．三峡重庆库区柑橘园氮素平衡状况研究［J］．植物营养与肥料学报，2011，17（3）：88–94.

［3］ 张玉珍．九龙江上游五川流域农业非点源污染研究［D］．厦门：厦门大学，2003.

［4］ 毛艳玲．不合理施用化肥对土壤的影响［J］．福建农业，2000（3）：9.

［5］ 王艳群，彭正萍，薛世川，等．过量施肥对设施农田土壤生态环境的影响［J］．农业环境科学学报，2005，24（Z1）：81–84.

［6］ 李文庆，李光德．大棚栽培对土壤盐分状况影响的研究［J］．山东农业大学学报（自然科学版），1995，26（2）：165–169.

［7］ 李东坡，武志杰．化学肥料的土壤生态环境效应［J］．应用生态学报，2008，19（5）：1158–1165.

［8］ Smith D R，Huang C．Assessing nutrient transport following dredging of agricultural drainage ditches［J］．Transactions of the Asabe，2010，53（2）：429–436.

［9］ 黄国勤，王兴祥，钱海燕，等．施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策［J］．生态环境，2004，13（4）：656–660.

［10］ Goulding K W T，Poulton P R，Webster C P，et al．Nitrate leaching from the broadbalk wheat experiment，rothamsted，UK，as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather［J］．Soil Use & Management，2000，16（4）：244–250.

［11］ 雷靖，梁珊珊，谭启玲，等．我国柑橘氮磷钾肥用量及减施潜力［J］．植物营养与肥料学报，2019，25（9）：1504–1513.

［12］ 郑磊，陈宝成，范玲超，等．控释掺混专用肥对水稻生长的影响［J］．中国农学通报，2013，29（30）：23–28.

［13］ 尹飞虎，刘洪亮，谢宗铭，等．棉花滴灌专用肥氮磷钾元素在土壤中的运移及其利用率［J］．地理研究，2010，29（2）：235–243.

［14］ 杨志阁，裴广力，段海涛，等．“大三元”生态肥在甜菜生产中的应用［J］．磷肥与复肥，2019，34（8）：37–38.

［15］ 薛艳芳，张慧，高英波，等．专用缓释肥结合延缓收获对夏玉米产量的调控效应［J］．山东农业科学，2019，51（6）：102–107.

［16］ 丁洪，张玉树，李卫华．新型专用肥对大白菜产量·品质和养分利用率的影响［J］．安徽农业科学，2008，36（10）：4042–4043.

［17］ 张红梅，李鹃鸽，张楚捷，等．不同肥料配施对红凤凰桃果实品质的影响［J］．山西农业科学，2019，47（5）：845–848，853.

［18］ 翁伯琦，王义祥，黄毅斌，等．生草栽培下果园土壤固碳潜力研究［J］．生态环境学报，2013，22（6）：931–934.

［19］ 吴家森，张金池，钱进芳，等．生草提高山核桃林土壤有机碳含量及微生物功能多样性［J］．农业工程学报，2013，29（20）：111–117.

［20］ 张钦，于恩江，林海波，等．连续种植不同绿肥的土壤团聚体碳分布及其固持特征［J］．中国土壤与肥料，2019（1）：71–78.

［21］ 侣国涵，赵书军，王瑞，等．连年翻压光叶苕子对植烟土壤物理及生物性状的影响［J］．植物营养与肥料学报，2014，20（4）：905–912.

［22］ 栾好安，王晓雨，韩上，等．三峡库区橘园种植光叶苕子对土壤养分流失的影响［J］．水土保持学报，2016，30（2）：68–72.

［23］ 张猛，张健，徐雄，等．土壤管理方式对果－草人工生态系统土壤性质影响［J］．林业科学，2006，42（8）：44–49.

［24］ 郑仲登，黄毅斌，翁伯奇，等．福建山地综合开发中红壤保育研究——I. 不同垦殖方式对果园生态系统的影响［J］．中国生态农业学报，2003，11（3）：149–151.

［25］ 徐凌飞，韩清芳，吴中营，等．清耕和生草梨园土壤酶活性的空间变化［J］．中国农业科学，2010，43（23）：4977–4982.

［26］ 鲍士旦．土壤农化分析（3版）［M］．北京：中国农业出版社，2000.

［27］ 李合生．植物生理生化实验原理和技术［M］．北京：高等教育出版社，2000.

［28］ 王丽英，张彦才，翟彩霞，等．平衡施肥对连作日光温室黄瓜产量、品质及土壤理化性状的影响［J］．中国生态农业学报，2008，16（6）：1375–1383.

［29］ 余宏军，蒋卫杰，孙忠富，等．精准施肥对小白菜产量、品质及土壤特性的影响［J］．沈阳农业大学学报，2006，37（3），423–426.

［30］ 潘峰，黄素平，吕秀兰，等．配方施肥对阿坝州脆红李果实品质及果园土壤理化性质的影响［J］．陕西农业科学，2018，64（6）：8–12.

［31］ 曹刚，赵明新，毕淑海，等．平衡施肥对荒漠区黄冠梨生长与品质的影响［J］．应用生态学报，2018，29（8），26–33.

［32］ 徐雄，张健．生草和生物覆盖对果园土壤肥力的影响［J］．四川农业大学学报，2004，22（1）：88–91.

［33］ 李国怀，伊华林．生草栽培对柑橘园土壤水分与有效养分及

果实产量、品质的影响［J］. 中国生态农业学报，2005，13（2）：161–163.
［34］ 吴玉森，张艳敏，冀晓昊，等. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响［J］. 中国农业科学，2013，46（1）：99–108.
［35］ 陈波浪，柴仲平，吴海华，等. 施用绿肥（苦豆子鲜草）对立架甜瓜土壤速效养分与产量的影响［J］. 中国土壤与肥料，2015（5）：94–98.
［36］ 张晓琪，景豆豆，杨珍平，等. 绿肥苜蓿合理还田提高旱地小麦产量及土壤养分研究［J］. 华北农学报，2019，34（S1）：221–227.

Special formula fertilizer combined with planting smooth vetch improved fruit quality，and nutrient efficiency of citrus

WANG Peng[1, 2]，CUI Heng[1, 2]，CHEN Min[1, 2]，TAN Qi-ling[2]，HU Cheng-xiao[1, 2*]（1. Key Laboratory of Horticultural Plant Biology，Ministry of Education，Wuhan Hubei 430070；2. Engineering Laboratory for New-Type Fertilizer of Hubei Provincial/Microelement Research Center of Huazhong Agricultural University，Wuhan Hubei 430070）

Abstract： The effects of special formula fertilizer decrement application combined with planting smooth vetch on citrus fruit yield and quality，nutrient concentration and utilization were analyzed，aiming to decrease application of chemical fertilizer，and improve fruit quality and yield，nutrient efficiency for sustainable citrus production. Field experiments were conducted with 7-year-old Lane late navel orange orchard in Zigui and 28-year-old Satsuma orange orchard in Yiling，Yichang，Hubei，China. Four treatments，local conventional fertilizer（CK），citrus special formula fertilizer with the same total NPK amount as conventional（DL），citrus special formula fertilizer with 25% decrement of the conventional（JL），and citrus special formula fertilizer with 25% decrement and planting smooth vetch（JLL），were designed with four replicates per treatment and 3 ~ 4 consistent growing trees in each plot. The concentrations of N，P，K in plant and soil，fruit yield and quality were measured by conventional methods. The results showed that：1）Applying citrus special formula fertilizers as same or even 25% decrement of total NPK amount as local conventional fertilizers did not reduce fruit yield of Lane late navel orange and Satsuma mandarin orange；while citrus fruit yield was raised by combined 25% decrement application of citrus special formula fertilizer with planting smooth vetch. 2）The N，P，K fertilizer efficiency was evaluated by citrus fruit yield（kg）per kilogram NPK nutrient amount，and it was raised by the citrus special formula fertilizer application with the same or even 25% decrement of total NPK amount as local conventional fertilization，especially by combined citrus special formula fertilizer application as 25% reduction total NPK as conventional with planting smooth vetch of Satsuma mandarin orange. 3）The fruit quality indexes of Lane late navel orange and Satsuma orange were improved by citrus special formula fertilizer application with the same or even 25% decrement of total NPK amount as conventional fertilization，and particularly by combined citrus special formula fertilizer application as 25% decrement of the conventional with planting smooth vetch，such as the fruit soluble solids，Vitamin C content and solid-acid ratio，but the titratable acid content was declined. 4）Planting smooth vetch with 25% reduction application of citrus special formula fertilizer raised the nitrogen and phosphorus concentrations of spring shoot leaves of Lane late navel orange，but decreased the topsoil available nitrogen and phosphorus contents in May and available nutrients concentrations of 20 ~ 40 cm soil for two tested orchards，with no significant effects on topsoil available N，P，K in later seasons. The fruit quality and fertilizer N，P，K efficiency were improved by citrus special formula fertilizer application，while combined planting smooth vetch with 25% decrement application of citrus special formula fertilizer improved fruit yield and quality，fertilizer efficiency of Lane late navel orange and Satsuma mandarin orange.

Key words： citrus special formula fertilizer；smooth vetch；lane late navel orange；satsuma orange；yield；quality；nutrient efficiency