果 树 学 报 2026,43(10):2816-2828
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250685

翠冠梨树体生长及主要矿质元素需求规律探析

樊树雷[1],刘珠琴[2],徐沁怡[1],郑云晓[3],周超超[3],吴降星[1*],吴钰淼[4]

([1]宁波市农业技术推广总站,浙江宁波 315012;[2]宁波市农业科学研究院,浙江宁波 315040;[3]余姚市农业技术推广服务总站,浙江余姚 315499;[4]余姚市瑞丰果蔬专业合作社,浙江余姚 315470)

摘 要:【目的】探析东南沿海梨树生长及养分需求规律,为科学施肥提供理论支撑。**【方法】**以翠冠梨为试材,通过监测地上部新生器官阶段性生长(枝叶萌芽至果实成熟)动态,同步测定叶丛状短枝、生长枝和果实各器官氮、磷、钾、钙、镁等主要矿质元素含量,探究养分需求规律。**【结果】**叶丛状短枝叶片于4月20日基本完成发育;生长枝于6月10日停止纵向生长,但直径持续增加;果实于6月10日进入快速膨大期,7月20日单果质量最大。氮、镁需求集中于4—5月,63.91%氮、64.36%镁累积于叶片;磷、钙需求贯穿全生育期,51.82%磷累积于果实,87.78%钙累积于叶片;钾需求的峰值为6—7月,59.53%钾分配于果实。**【结论】**翠冠梨地上部新生器官生长呈阶段性,矿质元素需求与分配具有显著阶段特异性,生产中建议采用"阶段靶向"施肥策略:4—5月以氮肥为主,同时补施钙镁肥;5—6月提高钾肥比例,补施钙肥;6—7月重点施用钾肥。

关键词:翠冠梨;新生器官;生长动态;养分需求;阶段靶向施肥

中图分类号:S661.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)10-2816-13

Growth and nutrient demand for major minerals in Cuiguan pear

Fan Shulei[1], Liu Zhuqin[2], Xu Qinyi[1], Zheng Yunxiao[3], Zhou Chaochao[3], Wu Jiangxing[1*], Wu Yumiao[4]

(*[1]Ningbo Municipal Agricultural Technology Extension Station, Ningbo 315012, Zhejiang, China; [2]Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315040, Zhejiang, China; [3]Yuyao Agricultural Technology Extension Service Station, Yuyao 315499, Zhejiang, China; [4]Yuyao Ruifeng Fruit and Vegetable Professional Cooperative, Yuyao 315470, Zhejiang, China*)

Abstract:【Objective】This study aimed to systematically investigate the growth dynamics of new aerial organs in Cuiguan pear, the main sand pear cultivar in the southeastern coastal region of China, and the patterns of absorption, accumulation, and distribution of major mineral elements (N, P, K, Ca and Mg) in these organs. Through correlative analysis between tree growth and nutrient demand, the research aimed to establish a precision fertilization regime based on phenological stages, providing a scientific basis for improving quality and efficiency in local pear production.【Methods】The study was conducted in 2024 in a standardized pear orchard in Simen town, Yuyao municipal, Zhejiang province, using 8-year-old Cuiguan pear trees as plant material. Five uniformly growing sample trees were selected, and the growth dynamics of three types of aerial organs (leaves of rosette-short shoots, vegetative shoots, and fruit) were systematically monitored from bud burst on March 28th to fruit harvest on July 20th. Periodic determination of leaf number and fresh weight per leaf on rosette-short shoots was conducted; length, basal diameter, shoot fresh weight, and the fresh weight of attached leaves on vegetative shoots were recorded; and changes in fruit vertical diameter, horizontal diameter, and single fruit weight were traced. Organ samples were collected simultaneously, and the contents of major mineral elements were analyzed using standard methods (NY/T 2017—2011 for N, P and K; GB/T 23375—2009 for Ca and Mg). Combined with dry matter rate measurements, the accumulation of each element per plant

收稿日期:2025-12-04 **接受日期:**2026-03-24

基金项目:宁波市重大科技任务攻关项目(2021Z130);宁波市农业科技试验示范项目(2024NK004)

作者简介:樊树雷,男,高级农艺师,硕士,从事果树科学研究与推广工作。E-mail:nbnjzz@126.com

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:wjx3811@163.com

was calculated. Significance of differences was analyzed using DPS V9.50.【Results】① Organ growth dynamics. The development of rosette-short shoot leaves was completed earliest, with single leaf weight reaching 1.26 g by April 20th and remaining constant thereafter, averaging approximately 5.5 leaves per shoot. The elongation growth of vegetative shoots essentially ceased by June 10th, reaching an average length of 96.69 cm; however, their diameter continued to increase until harvest, growing from 4.82 mm on April 10th to 12.90 mm on July 20th. Fruit development showed distinct stages: slow growth before June 10th, followed by a rapid expansion phase where single fruit weight increased sharply from 59.20 g on June 10th to 395.50 g on July 20th, yielding 30.69 kg per plant. ②Nutrient demand characteristics. Nitrogen demand was highly concentrated in the early to mid-stages, with accumulation from April to May accounting for 89.69% of the total growth period. Leaves were the main nitrogen sink, constituting 63.91% of the total aerial N on July 30th. Phosphorus demand was relatively evenly distributed across growth stages, with fruit accounting for 51.82% of P at maturity. The peak demand for potassium occurred during the fruit rapid expansion phase (June 20th-July 10th), with accumulation in this phase accounting for 40.16% of the total period; fruit was the primary sink for potassium. Calcium and magnesium were mainly accumulated in the aerial vegetative organs, with leaf Ca and Mg contents reaching 47.92 g·plant^{-1} and 7.62 g·plant^{-1}, respectively, on July 20th, while the maximum fruit Ca content was only 1.09 g·plant^{-1}. ③Growth-nutrient correlation. The study found a significant stage-specific correlation between tree growth and nutrient uptake: the vigorous vegetative growth period from late April to mid-May corresponded to the rapid accumulation phase of N and P; after vegetative growth slowed in early June, the focus of nutrient allocation shifted to fruit, with a sharp increase particularly in potassium accumulation; the continuous accumulation of calcium in leaves coincided with the thickening growth of shoots, reflecting its important role in maintaining cell structure and enhancing stress resistance.【Conclusion】Both the growth of newly formed aboveground organs and the demand for mineral elements in Cuiguan pear exhibited obvious stage-specific characteristics, with a close correlation between the two. On this basis, a stage-targeted precision fertilization strategy suitable for sand pear production areas in the southeastern coastal region of China was proposed: From April to May, nitrogen fertilizer should be applied predominantly, combined with phosphorus, potassium and foliar magnesium and calcium fertilizer to promote early vegetative growth; from May to June, the proportion of potassium fertilizer should be appropriately increased, and foliar calcium fertilizers should be supplemented for fruit expansion; from June to July, potassium fertilizer should be heavily applied, phosphorus fertilizer applied moderately, and nitrogen input controlled. This study systematically revealed the dynamic relationship between tree growth and mineral nutrient demand in Cuiguan pear for the first time, providing important theoretical and practical guidance for scientific fertilization in sand pear producing areas.

Key words: Cuiguan pear; Newly developed organs; Growth dynamics; Nutrient demand; Stage-targeted fertilization

我国是世界第一梨生产国，栽培面积和产量约占世界的69.1%和68.4%[1]。翠冠梨是浙江省农业科学院以幸水×（杭青×新世纪）杂交选育的砂梨品种，也是我国东南沿海砂梨产区的当家品种，在推动农民增收、产业共富中发挥重要作用。施肥是果树生产最重要的管理措施之一，可直接影响树体生长和果实发育，进而影响产量和果实品质。养分平衡施肥法[2]是根据作物需肥量和土壤供肥量之差计算实现目标产量所需的施肥量，是科学施肥中最重要的方法之一，已在多种作物中取得应用，成效显著[3-6]。养分平衡施肥首先需明确果树矿质元素需求规律。当前，梨的矿质营养研究在华山梨[7]、砀山酥梨[8]、库

尔勒香梨[9]、翠冠梨[10]等中已有研究报道，但多集中于叶片、果实等器官的养分变化规律，未与树体和果实生长相耦合，不能准确反映果树的养分需求规律。徐锴等[11]通过测定五九香梨不同发育期、不同部位矿质元素含量，明确了五九香梨养分需求规律，为其科学施肥提供了理论依据，但目前尚无翠冠梨的相关报道。鉴于此，笔者以翠冠梨为试材，连续监测枝叶萌芽至果实采收期地上部新生器官的生长发育进程及矿质元素的含量变化，计算主要营养元素需求量，明确养分需求规律，以期为翠冠梨科学施肥奠定基础。

1 材料和方法

试验基地位于浙江省余姚市泗门镇，面积3300 m^2，园相整齐，长势一致，试验材料为8年生翠冠，冠径约3.5 m，株高2.3 m，2023年株产量约30 kg，株行距为2.5 m×4.5 m，园内自然生草。2024年4月5日，采用蛇形法选取5个样点采集土样，取土深度20 cm，混匀后送检，测得土壤碱解氮含量（w，后同）34.94 mg·kg^{-1}，有效磷含量54.74 mg·kg^{-1}，速效钾含量113.63 mg·kg^{-1}，交换性钙含量（b）（1/2 Ca^{2+}）28.33 cmol·kg^{-1}，交换性镁含量（b）（1/2 Mg^{2+}）2.91 cmol·kg^{-1}，肥力中等。试验期间主要施肥管理为：4月17日每666.7 m^2施用尿素（河南心连心化学工业集团股份有限公司生产，总氮含量≥46%）10 kg+复合肥（河南农心肥业有限公司生产，N-P_2O_5-K_2O=15-15-15，总养分含量≥45%）20 kg；5月28日每667 m^2施用复合肥（湖北鄂中生态工程股份有限公司生产，N-P_2O_5-K_2O=17-7-17，总养分含量≥41%）12.5 kg+硫酸钾（浙江浙农爱普贸易有限公司经销，K_2O含量≥52%）17.5 kg，6月23日每666.7 m^2施用尿素（同上）10 kg+复合肥（同上）5 kg。

选择生长结果基本一致的5株树作为观察对象，3月28日枝叶开始萌发。从4月10日开始，分别统计叶丛状短枝（结果短枝和非结果短枝）及生长枝（中长枝，位置不佳的及时疏除，不计算在内）的数量（图1）；每10 d测定生长枝的长度和直径，4月25日（定果后）记录每株树的果实数量，结果如表1所示。从4月10日开始，在试验园内随机取样，取样材料和数量为叶丛状短枝5枝、生长枝5枝、果实10个。测定指标包括叶丛状短枝叶片数量及叶片质量，生长枝基部直径、长度、着生叶片数量以及叶片质量，果实纵径、横径和单果质量。同时，分别测定叶丛状短枝叶片、生长枝枝条、生长枝叶片、果实的干质量及

图1 叶丛状短枝（左：结果短枝；中：非结果短枝）和生长枝（右）的形态特征

Fig. 1 The morphological characteristics of rosette-short shoots (Left: Fruiting short shoot; middle: Non-fruiting short shoot) and vegetative shoots (right)

表1 供试树体叶丛状短枝、生长枝和果实数量

Table 1 Number of rosette-short shoots, vegetative shoots, and fruit in the experimental trees

器官 Organ	树1 Tree 1	树2 Tree 2	树3 Tree 3	树4 Tree 4	树5 Tree 5	均值±标准差 Mean±SD
叶丛状短枝 Rosette-short shoot	261	286	310	265	296	283.6±20.70
生长枝 Vegetative shoot	53	54	57	49	56	53.8±3.11
果实 Fruit	65	80	78	80	85	77.6±7.50

氮、磷、钾、钙、镁含量，持续至7月20日果实全部采收后结束。氮、磷、钾含量按照NY/T 2017—2011[12]方法测定，钙、镁含量按照GB/T 23375—2009[13]方法测定。单株树器官鲜质量=单器官鲜质量×单株树器官数量；器官生长量为不同时间器官鲜质量之差；器官矿质元素累积量（g•株$^{-1}$）=器官矿质元素含量（g·g^{-1}）×干物质率×单株树器官鲜质量。

采用DPS V 9.50进行差异显著性分析，使用Excel 2021软件处理数据。

2　结果与分析

2.1　叶丛状短枝、生长枝及果实生长情况

叶丛状短枝叶片和果实生长发育情况如表2所示，4月10日至7月20日（果实采收结束），翠冠梨叶丛状短枝单枝叶片数量稳定约5.5枚，不同采样日无显著差异，表明叶片分化已于4月10日前完成。单叶质量以4月10日（0.65g）最低，显著低于其他日期，而其他日期间无显著差异，为1.22~1.35 g，表明4月20日叶丛状短枝叶片形态与生理发育基本完成。单枝叶片质量4月10日时（3.92 g）最低，显著低于其他日期，7月10日达到峰值（7.04 g）。果实纵径和横径随发育进程逐渐增大，除4月20日与4月30日间无显著差异外，其他日期间差异显著。6月10日—7月10日果实纵径和横径增长最快，每10 d增幅超过10 mm，7月20日果实纵径和横径达到最大值，分别为4月10日的6.05倍和8.71倍。单果质量呈“缓增—速增”双阶段特征：5月20日前增长较慢，5月20日后增速加快，6月10日后快速增加，7月20日达到最大（395.50 g）。

表2　叶丛状短枝叶片与果实生长发育情况

Table 2　Growth and development of sampled rosette-short shoot leaves and fruit

日期 Date	叶丛状短枝 Rosette-short shoot			果实 Fruit		
	叶片数量 Leaf number	单叶质量 Mass per leaf/g	单枝叶片质量 Leaf mass per branch/g	纵径 Vertical diameter/mm	横径 Transverse diameter/mm	单果质量 Mass per fruit/g
04-10	6.0±2.45 a	0.65±0.09 b	3.92±0.29 b	13.79±1.91 j	10.21±0.99 j	0.90±0.21 g
04-20	5.0±1.00 a	1.26±0.31a	6.32±0.57 a	19.85±2.83 i	17.26±2.21 i	3.51±1.03 g
04-30	5.2±0.84 a	1.22±0.06 a	6.36±0.72 a	21.35±1.88 i	19.76±1.69 i	5.02±1.23 fg
05-10	5.0±1.00 a	1.28±0.14 a	6.41±0.74 a	26.00±1.77 h	24.62±1.52 h	9.17±1.38 fg
05-20	5.2±1.79 a	1.25±0.23 a	6.51±0.66 a	30.18±2.30 g	30.19±2.69 g	17.65±3.06 fg
05-30	4.8±1.30 a	1.35±0.18 a	6.49±0.65 a	37.24±2.73 f	38.03±3.28 f	31.35±6.99 f
06-10	5.2±0.84 a	1.29±0.15 a	6.71±0.71 a	44.65±5.43 e	47.52±3.44 e	59.20±15.83 e
06-20	5.4±1.52 a	1.26±0.16 a	6.67±0.45 a	55.85±5.75 d	60.54±4.59 d	120.31±29.25 d
06-30	5.4±1.52 a	1.29±0.22 a	6.96±0.46 a	66.05±4.35 c	71.32±1.96 c	202.42±15.89 c
07-10	5.4±1.82 a	1.30±0.20 a	7.04±0.42 a	76.89±4.35 b	82.15±7.29 b	300.50±67.84 b
07-20	5.4±1.14 a	1.29±0.15 a	6.98±0.63 a	83.48±6.47 a	88.95±5.36 a	395.50±66.69 a

注：不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same below.

生长枝生长情况如表3所示。4月10日—6月10日为新梢伸长期，枝长持续增加但生长速率逐步放缓，6月10日平均枝长达96.69 cm，随后枝条伸长生长基本停止；但枝条横向生长贯穿整个生育期，4月10日基部直径为4.82 mm，果实采收时达12.90 mm；新梢枝条质量增加趋势与生长枝直径变化相似，7月20日达到峰值时，为4月10日的81.25倍；平均单叶质量随生长枝生长而持续增加，6月20日后无显著差异，这是生长枝生长前期幼叶持续展叶、6月下旬后基本不再新抽幼叶、枝上发育完全叶片所占比例逐渐增加所致。

不同时段整株树地上部新生器官生长量情况如表4所示。叶丛状短枝叶片质量增加集中在3月28日（枝叶萌芽）至4月20日；生长枝生长主要集中在4月10日—6月10日，叶片质量于4月10日—5月10日增加最快，平均每10 d增加0.40 kg，枝条于4月20日—6月10日迅速增长，每10 d平均增加0.41 kg；果实质量于5月30日后开始快速增加，6月30日—7月10日期间积累量最大，为7.61 kg。4月20日前，器官形成以叶片为主，枝叶萌芽至4月20日，叶片生长量占全树地上部新生器官生长总量的80.46%；4月20日—6月10日，生长枝旺长，每10 d平均增加0.81 kg；6月10日后果实快速膨大，生长量在地上部

表3 生长枝及枝上着生叶片生长情况

Table 3 Growth status of sampled vegetative shoots and their attached leaves

日期 Date	长度 Length/cm	直径 Diameter/mm	枝条质量 Branch mass/g	叶片质量 Leaf mass/g	平均单叶质量 Average single leaf mass/g
04-10	13.54±2.16 g	4.82±1.01 h	0.59±0.24 g	3.98±0.69 g	0.53±0.08 e
04-20	36.88±2.43 f	7.12±0.89 g	5.87±0.84 f	12.30±0.96 f	0.98±1.11 d
04-30	54.34±2.81 e	7.63±0.87 fg	13.39±1.45 e	19.74±1.28 e	1.03±1.14 d
05-10	69.73±3.40 d	7.83±1.21 fg	22.56±2.22 d	27.15±1.71 d	1.29±1.72 cd
05-20	80.13±3.53 c	8.45±0.64 ef	30.08±2.74 c	32.62±1.92 c	1.57±1.41 bc
05-30	87.98±3.15 b	9.39±0.69 de	36.46±2.72 b	36.98±1.81 b	1.63±1.62 bc
06-10	96.69±4.13 a	9.94±0.41 d	44.32±3.92 a	42.09±2.49 a	1.69±1.72 b
06-20	98.39±3.97 a	11.08±0.67 c	45.92±3.84 a	43.11±2.41 a	2.19±2.33 a
06-30	98.92±3.89 a	11.64±0.55 bc	46.43±3.78 a	43.43±2.37 a	2.24±2.11 a
07-10	99.66±4.06 a	12.26±0.45 ab	47.15±3.97 a	43.88±2.49 a	2.23±2.13 a
07-20	100.46±4.31 a	12.90±0.35 a	47.94±4.25 a	44.37±2.65 a	2.14±2.42 a

表4 地上部新生器官不同时段生长量

Table 4 Growth increment of aboveground new aerial organs at different periods kg

不同时段 Different periods	叶丛状短枝叶片质量 Leave of rosette-short shoot mass	生长枝叶片质量 Vegetative shoot leave mass	生长枝枝条质量 Vegetative shoot mass	果实质量 Fruit mass	合计 Total
03-28—04-10	1.14±0.59 a	0.21±0.04 c	0.03±0.01 d	0.07±0.01 d	1.45±0.65 d
04-10—04-20	0.65±0.35 ab	0.43±0.02 a	0.28±0.04 c	0.20±0.06 d	1.57±0.37 d
04-20—04-30	0.01±0.28 b	0.39±0.03 a	0.40±0.04 ab	0.12±0.04 d	0.92±0.30 d
04-30—05-10	0.01±0.09 b	0.39±0.05 a	0.49±0.07 a	0.32±0.02 cd	1.21±0.18 d
05-10—05-20	−0.01±0.36 b	0.29±0.06 b	0.40±0.08 ab	0.66±0.05 cd	1.34±0.48 d
05-20—05-30	0.08±0.34 b	0.23±0.05 bc	0.34±0.07 bc	1.06±0.29 cd	1.72±0.63 d
05-30—06-10	0.01±0.58 b	0.27±0.04 bc	0.42±0.08 ab	2.16±0.69 c	2.86±0.29 cd
06-10—06-20	0.01±0.31 b	0.05±0.03 d	0.09±0.05 d	4.74±0.59 b	4.89±0.62 bc
06-20—06-30	0.05±0.15 b	0.02±0.01 d	0.03±0.02 d	6.37±0.41 ab	6.46±0.50 ab
06-30—07-10	0.07±0.49 b	0.02±0.02 d	0.04±0.04 d	7.61±2.36 a	7.74±2.59 a
07-10—07-20	−0.01±0.46 b	0.03±0.02 d	0.04±0.03 d	7.37±1.23 a	7.43±1.47 a

新生器官总生长量中的占比迅速增加，至7月10—20日（果实采收期），占比达到99.19%，树体营养几乎完全向果实转运分配，反映了不同生育阶段树体营养分配重心存在明显转移。

2.2 地上部不同新生器官干物质率变化分析

地上部不同新生器官干物质率变化如表5所

表5 地上部不同新生器官干物质率变化

Table 5 Changes in dry matter percentage of different aboveground new aerial organs %

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit
04-10	30.31±2.34 a	29.77±4.44 a	17.62±3.19 d	16.09±2.16 abc
04-20	28.06±3.12 a	27.23±2.79 a	22.23±3.69 cd	22.20±4.33 a
04-30	34.41±3.61 a	30.93±2.47 a	25.73±4.63 bcd	21.21±2.77 ab
05-10	36.29±3.57 a	31.04±4.23 a	28.04±3.70 abcd	20.58±2.18 abc
05-20	34.92±3.35 a	35.49±3.96 a	32.42±3.19 abc	20.11±4.52 abc
05-30	36.71±3.56 a	33.22±4.65 a	33.63±3.01 ab	16.96±2.22 abc
06-10	33.93±2.18 a	31.78±3.67 a	32.03±4.63 abc	12.48±2.80 bc
06-20	31.34±2.84 a	30.53±3.63 a	31.92±4.58 abc	11.64±3.59 c
06-30	35.17±3.44 a	38.27±4.72 a	36.34±2.77 ab	12.00±2.78 c
07-10	32.59±3.27 a	38.59±3.11 a	37.13±4.76 a	12.48±3.60 bc
07-20	36.64±2.18 a	36.13±4.68 a	34.02±2.98 ab	13.18±2.23 abc

示。叶丛状短枝叶片和生长枝叶片干物质率整体稳定，维持在27%~39%，不同日期间无显著差异；生长枝枝条干物质率变化呈先上升后基本平稳的趋势，4月10日时最低（17.62%），5月10日后稳定在28%~38%；果实干物质率低于枝叶，变化呈单峰曲线：4月20日最高（22.20%），6月20日降至全期最低（11.64%），降幅47.57%。

2.3　地上部不同新生器官矿质元素含量和累积量变化分析

2.3.1　地上部不同新生器官氮含量和累积量变化分析　地上部不同新生器官氮含量变化如表6所示。幼嫩器官氮含量显著高于成熟器官：随着生育进程，叶丛状短枝叶片氮含量先小幅增加，4月20日最高（2.55%），与4月30日—5月30日间无显著差异，5月30日后持续下降，7月10日、20日时最低，为峰值的61.57%；生长枝叶片氮含量变化趋势与叶丛状短枝相似，但其显著下降期延后至6月30日后，7月10日最低（1.59%）；生长枝枝条和果实氮含量自萌芽后均呈持续下降趋势，4月10日最高，分别为1.95%、1.61%，7月20日时最低，分别为0.42%、0.28%。

表6　地上部不同新生器官氮含量变化

Table 6　Changes in nitrogen content of different aboveground new aerial organs　%

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit
04-10	2.12±0.12 bc	2.05±0.11 abcd	1.95±0.10 a	1.61±0.09 a
04-20	2.55±0.27 a	2.27±0.12 ab	1.33±0.09 b	1.31±0.08 b
04-30	2.44±0.14 ab	2.15±0.12 abc	1.44±0.09 b	1.15±0.07 b
05-10	2.41±0.17 ab	2.23±0.13 abc	1.39±0.09 b	1.05±0.20 b
05-20	2.35±0.13 ab	2.30±0.13 ab	1.40±0.09 b	1.07±0.07 b
05-30	2.26±0.13 abc	1.97±0.11 bcd	0.76±0.05 c	1.04±0.07 c
06-10	2.05±0.12 bcd	2.35±0.12 a	0.50±0.04 d	0.83±0.06 d
06-20	1.89±0.11 cde	2.07±0.12 abcd	0.50±0.02 d	0.51±0.04 d
06-30	1.67±0.10 de	1.91±0.11 cde	0.50±0.06 d	0.43±0.03 d
07-10	1.57±0.10 e	1.59±0.09 e	0.43±0.03 d	0.34±0.03 d
07-20	1.57±0.09 e	1.81±0.11 de	0.42±0.03 d	0.28±0.02 d

翠冠梨地上部不同新生器官氮累积量变化如表7所示。随着生长发育进程，不同新生器官氮累积量变化趋势不同。叶丛状短枝叶片中氮于4月10—20日快速积累，5月10日达到峰值（为4月10日的2.21倍），随后小幅回落。生长枝叶片中氮累积量随新梢生长持续增加，5月20日后增速减慢并基本趋于稳定，6月30日达到最高（16.66 g•株$^{-1}$）；生长枝枝条中氮累积量先快速上升，5月20日时达到峰值（7.36 g•株$^{-1}$）后下降至基本稳定；随果实膨大，果实氮累积量逐渐增加，7月20日达到最大（11.33 g•株$^{-1}$）。

表7　地上部不同新生器官氮累积量变化

Table 7　Changes in nitrogen accumulation of different aboveground new aerial organs　（g·plant^{-1}）

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit	总计 Total
04-10	7.17±0.53 e	1.26±0.24 g	0.11±0.05 f	0.18±0.03 f	8.71±0.42 f
04-20	12.84±1.16 bcd	3.95±0.35 f	0.93±0.15 f	0.79±0.22 f	18.52±1.35 e
04-30	15.14±1.72 ab	6.84±0.50 e	2.67±0.32 e	0.95±0.20 f	25.60±1.61 d
05-10	15.89±1.84 a	9.82±0.69 d	4.73±0.52 bc	1.54±0.19 ef	31.98±1.55 c
05-20	15.13±1.52 ab	13.94±0.92 bc	7.36±0.75 a	2.93±0.18 de	39.36±2.76 ab
05-30	15.27±1.54 ab	12.67±0.70 c	5.03±0.42 b	4.27±0.65 cd	37.25±2.78 ab
06-10	13.26±1.40 abc	16.48±1.10 a	3.79±0.37 d	4.75±1.07 c	38.27±2.97 ab
06-20	11.20±0.76 cd	14.31±0.90 bc	3.93±0.37 cd	5.52±0.68 c	34.96±2.33 bc
06-30	11.56±0.77 cd	16.66±1.02 a	4.51±0.41 bcd	8.07±0.40 b	40.79±2.07 a
07-10	10.23±0.61 d	14.11±0.90 bc	4.09±0.39 cd	9.87±1.28 a	38.30±0.82 ab
07-20	11.36±1.03 cd	15.18±1.02 ab	3.67±0.36 d	11.33±1.47 a	41.53±2.82 a

整株树地上部新生器官氮累积量于5月20日前快速增加，表明4—5月为氮需求核心期。7月20日，叶丛短枝和生长枝上叶片氮累计量占总氮含量的63.91%，表明叶片是氮素最主要的储存库，果实次之（27.28%）。

2.3.2 地上部不同新生器官磷含量和累积量变化分析 地上部不同新生器官磷含量变化如表8所示，各器官磷含量均呈逐渐下降趋势。4月10日时各器官磷含量为全期最高值，随后叶丛状短枝和生长枝叶片磷含量缓慢下降，5月30日后到达较低水平，与7月最低值（0.17%、0.19%）无显著差异；生长枝枝条和果实磷含量于4月10—20日急剧下降，下降幅度接近50%。此后，生长枝枝条基本保持稳定，而果实中磷含量仍缓慢下降，采收期果实磷含量仅为萌芽期的27.27%。

表8 地上部不同新生器官磷含量变化

Table 8 Changes in phosphorus content of different aboveground new aerial organs %

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit
04-10	0.33±0.03 a	0.40±0.03 a	0.41±0.03 a	0.44±0.03 a
04-20	0.31±0.02 ab	0.30±0.02 bc	0.21±0.02 b	0.23±0.02 b
04-30	0.23±0.02 cde	0.25±0.02 cde	0.21±0.02 b	0.19±0.02 bc
05-10	0.26±0.02 bc	0.31±0.02 b	0.20±0.02 b	0.21±0.03 bc
05-20	0.22±0.02 cdef	0.26±0.02 bcd	0.18±0.02 bc	0.18±0.02 bc
05-30	0.20±0.02 def	0.24±0.02 cde	0.16±0.02 bc	0.21±0.02 bc
06-10	0.24±0.02 cd	0.20±0.02 de	0.14±0.02 c	0.17±0.02 bcd
06-20	0.23±0.02 cdef	0.25±0.02 cde	0.14±0.02 c	0.16±0.01 cd
06-30	0.20±0.02 def	0.20±0.02 de	0.16±0.02 bc	0.12±0.01 d
07-10	0.17±0.02 f	0.21±0.02 de	0.18±0.02 bc	0.13±0.01 d
07-20	0.18±0.02 ef	0.19±0.02 e	0.16±0.02 bc	0.12±0.01 d

地上部不同新生器官磷累积量变化如表9所示。叶丛状短枝叶片磷累积量先显著增加，5月10日达到峰值（1.70 g•株$^{-1}$）后小幅下降，5月20日后无显著变化。生长枝叶片、枝条磷累积量随枝条生物量增加而持续累积，7月10日达到峰值，分别为1.90 g•株$^{-1}$、1.65 g•株$^{-1}$。随果实膨大，果实中磷累积量持续增加，7月20日达到峰值（4.69 g•株$^{-1}$），占地上部新生器官总磷累积量的51.82%。地上部新生器官磷总累积量增长无明显停滞期，表明磷需求贯穿整个生长期。

2.3.3 地上部不同新生器官钾含量变化分析 地上部不同新生器官钾含量变化如表10所示。叶丛状短枝叶片和生长枝叶片钾含量变化呈“降-升-降”波动，5月20日时降至最低（分别为0.85%、1.09%），6月下旬回升至4月10日水平后小幅下降；生长枝枝

表9 地上部不同新生器官磷累积量变化

Table 9 Changes in phosphorus accumulation of different aboveground new aerial organs （g·plant^{-1}）

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit	总计 Total
04-10	1.11±0.08 d	0.25±0.05 h	0.02±0.01 e	0.05±0.01 f	1.43±0.06 h
04-20	1.54±0.14 ab	0.53±0.05 g	0.14±0.12 e	0.14±0.04 f	2.35±0.17 g
04-30	1.45±0.16 abc	0.81±0.06 f	0.38±0.05 d	0.15±0.03 f	2.80±0.17 g
05-10	1.70±0.20 a	1.37±0.10 e	0.69±0.08 c	0.30±0.04 ef	4.07±0.18 f
05-20	1.40±0.14 bc	1.59±0.11 bcd	0.93±0.10 b	0.50±0.03 def	4.42±0.30 ef
05-30	1.33±0.13 bcd	1.55±0.09 cde	1.04±0.09 b	0.86±0.03 de	4.78±0.36 ef
06-10	1.56±0.16 ab	1.43±0.10 de	1.03±0.10 b	0.98±0.02 d	5.00±0.45 e
06-20	1.36±0.09 bcd	1.70±0.11 bc	1.10±0.10 b	1.74±0.01 c	5.90±0.45 d
06-30	1.42±0.09 bc	1.76±0.11 ab	1.45±0.13 a	2.21±0.01 c	6.83±0.37 c
07-10	1.19±0.07 cd	1.90±0.12 a	1.65±0.16 a	3.40±0.04 b	8.15±0.29 b
07-20	1.31±0.12 bcd	1.61±0.11 bcd	1.44±0.14 a	4.69±0.01 a	9.05±0.79 a

表 10　地上部不同新生器官钾含量变化

Table 10　Changes in potassium content of different aboveground new aerial organs　%

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit
04-10	1.41±0.10 ab	1.52±0.11 ab	2.27±0.15 a	1.84±0.13 a
04-20	1.42±0.10 a	1.42±0.10 abc	1.03±0.31 b	1.18±0.09 bcd
04-30	1.14±0.09 cd	1.35±0.10 abc	1.06±0.08 b	1.17±0.09 bcd
05-10	1.05±0.08 de	1.44±0.11 ab	0.93±0.08 bc	1.29±0.10 b
05-20	0.85±0.07 e	1.09±0.09 c	0.75±0.07 bcd	0.92±0.08 de
05-30	1.08±0.09 de	1.19±0.09 bc	0.81±0.07 bcd	1.15±0.09 bcd
06-10	1.16±0.09 bcd	1.42±0.18 abc	0.57±0.05 d	1.26±0.10 bc
06-20	1.36±0.11 abc	1.54±0.12 a	0.62±0.06 cd	0.93±0.08 de
06-30	1.34±0.07 abc	1.51±0.12 ab	0.53±0.05 d	0.82±0.07 e
07-10	1.37±0.05 abc	1.43±0.11 abc	0.63±0.06 cd	1.01±0.09 cde
07-20	1.14±0.09 cd	1.28±0.10 abc	0.50±0.05 d	0.85±0.07 e

条和果实中钾浓度均呈前期快速显著下降（4月10—20日）、后期缓慢降低的变化趋势，生长枝枝条钾含量于7月20日最低（0.50%），果实于6月30日降至最低（0.82%），两者与6月20日后各日期间无显著差异。

地上部不同新生器官钾累积量变化如表11所示。叶丛状短枝叶片中钾累积量呈阶梯式递增趋势，分别于4月10—20日、6月20—30日阶梯递增，6月30日达到峰值，为9.30 g•株$^{-1}$。随生长枝生长，生长枝叶片、枝条中钾逐渐累积，分别于6月30日、7月10日达到峰值，分别为4月10日的14.17倍、45.54倍；叶片中钾累积量高于生长枝枝条。果实中钾累积量呈类“S”形增长，7月20日时最大，为34.38 g•株$^{-1}$，占地上部新生器官钾总累积量59.53%，表明果实是钾的核心分配器官。地上部分新生器官钾积累量也呈类“S”形增长，钾需求高峰集中在果实快速膨大阶段。

表 11　地上部不同新生器官钾累积量变化

Table 11　Changes in potassium accumulation of different aboveground new aerial organs　（g·plant^{-1}）

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit	总计 Total
04-10	4.75±0.35 d	0.93±0.18 g	0.13±0.06 g	0.21±0.04 g	6.02±0.28 g
04-20	7.12±0.64 b	2.46±0.22 f	0.72±0.11 g	0.72±0.20 fg	11.02±0.82 fg
04-30	7.05±0.80 b	4.30±0.31 e	1.96±0.24 f	0.96±0.20 fg	14.28±0.86 ef
05-10	6.92±0.80 bc	6.34±0.45 d	3.16±0.35 e	1.89±0.23 fg	18.31±0.81 e
05-20	5.50±0.55 cd	6.62±0.44 cd	3.93±0.40 de	2.53±2.16 fg	18.59±1.26 e
05-30	7.28±0.73 b	7.64±0.42 c	5.31±0.44 ab	4.74±0.72 ef	24.98±1.93 d
06-10	7.48±0.79 b	9.93±0.66 b	4.37±0.43 cd	7.22±0.63 de	29.00±2.78 cd
06-20	8.08±0.55 ab	10.63±0.67 b	4.92±0.46 bc	10.11±0.25 d	33.74±2.56 c
06-30	9.30±0.62 a	13.18±0.81 a	4.81±0.44 bc	15.46±0.77 c	42.75±2.18 b
07-10	8.94±0.53 a	12.68±0.81 a	5.92±0.56 a	29.39±1.81 b	56.93±3.09 a
07-20	8.24±0.75 ab	10.79±0.73 b	4.34±0.43 cd	34.38±1.46 a	57.75±5.18 a

2.3.4　地上部不同新生器官钙含量变化分析　翠冠梨地上部不同新生器官钙含量变化如表12所示。新生叶片、枝条钙含量随生育期持续升高，7月20日时叶片钙含量最高，叶丛状短枝叶片为3.28%、生长枝叶片为2.87%；生长枝枝条6月30日时最高（0.77%），与6月20日—7月20日其他日期间无显著差异；果实中钙含量先显著下降，而后小幅回升后再显著下降，4月10日最高（0.16%），7月10日、7月20日最低（0.03%）。

翠冠梨地上部不同新生器官钙元素累积量变化如表13所示。叶丛状短枝和生长枝叶片钙累积量阶梯式递增，分别在4月30日—5月10日和6月20—30日阶梯增长，叶丛状短枝叶片7月20日时达

表 12 地上部不同新生器官钙含量变化

Table 12 Changes in calcium content of different aboveground new aerial organs %

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit
04-10	0.65±0.05 d	0.57±0.05 d	0.28±0.03 e	0.16±0.02 a
04-20	0.67±0.05 d	0.62±0.05 d	0.38±0.03 de	0.09±0.01 c
04-30	0.93±0.07 d	0.86±0.07 d	0.39±0.08 de	0.05±0.01 d
05-10	1.92±0.14 c	1.71±0.13 c	0.60±0.05 abc	0.13±0.01 ab
05-20	2.03±0.23 c	2.20±0.17 b	0.59±0.05 bc	0.13±0.01 ab
05-30	2.11±0.39 c	2.35±0.17 b	0.49±0.04 cd	0.13±0.01 ab
06-10	2.04±0.17 c	2.44±0.18 ab	0.57±0.05 bc	0.13±0.01 ab
06-20	2.32±0.17 bc	2.61±0.19 ab	0.73±0.06 ab	0.12±0.01 bc
06-30	2.89±0.35 ab	2.60±0.19 ab	0.77±0.10 a	0.09±0.01 c
07-10	3.19±0.23 a	2.83±0.24 a	0.68±0.06 ab	0.03±0.01 d
07-20	3.28±0.10 a	2.87±0.21 a	0.64±0.06 abc	0.03±0.004 d

表 13 地上部不同新生器官钙累积量变化

Table 13 Changes in calcium accumulation of different aboveground new aerial organs （g·plant^{-1}）

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit	总计 Total
04-10	2.19±0.16 e	0.35±0.07 h	0.02±0.01 g	0.02±0.003 h	2.57±0.13 g
04-20	3.35±0.30 de	1.08±0.10 gh	0.27±0.04 g	0.05±0.02 h	4.75±0.34 g
04-30	5.79±0.66 d	2.75±0.20 g	0.72±0.09 g	0.04±0.01 h	9.31±0.58 f
05-10	12.66±1.47 c	7.54±0.53 f	2.06±0.23 f	0.19±0.02 gh	22.45±1.23 e
05-20	13.09±1.32 c	13.31±0.88 e	3.12±0.32 e	0.36±0.02 fg	29.87±2.12 d
05-30	14.29±1.44 c	15.09±0.83 de	3.23±0.27 e	0.54±0.08 ef	33.15±2.27 cd
06-10	13.17±1.39 c	17.08±1.14 cd	4.37±0.43 d	0.75±1.07 de	35.37±2.39 bc
06-20	13.74±0.94 c	18.03±1.14 c	5.75±0.54 bc	1.30±1.06 b	38.82±2.38 b
06-30	20.09±1.33 b	22.66±1.39 b	7.02±0.64 a	1.70±1.08 a	51.47±2.63 a
07-10	20.77±1.24 b	25.12±1.60 a	6.44±0.61 ab	0.96±1.02 cd	53.29±1.24 a
07-20	23.81±2.16 a	24.11±1.62 ab	5.57±0.55 c	1.09±1.04 bc	54.59±3.70 a

到峰值（23.81 g•株$^{-1}$），生长枝叶片7月10日最高（25.12 g•株$^{-1}$）；生长枝枝条钙累积量随新梢生长增加，6月30日达到峰值后略下降，最高为同期生长枝叶片的30.98%。果实中钙累积量最低，变化趋势与生长枝枝条相似，6月30日达到峰值（1.70 g•株$^{-1}$）后下降。地上部新生器官钙累积量总体呈阶梯式递增，于7月20日达最大值（54.59 g•株$^{-1}$），钙优先向叶片分配，采收期两类叶片钙累积量占地上总钙累积量的87.78%。

2.3.5 地上部不同新生器官镁含量变化分析 翠冠梨地上部新生器官镁含量变化如表14所示。叶丛状短枝和生长枝叶片镁含量均在4月10—20日提高后保持稳定（0.41%~0.51%），其中叶丛状短枝叶片提高幅度达到差异水平；生长枝枝条镁含量阶梯式下降，6月10日下降后基本保持稳定，最高为4月20日（0.20%），最低为6月10日、6月20日（0.11%）；果实镁含量持续下降，4月10日时最高（0.23%），7月10日时最低，为4月10日的26.09%。

地上部不同新生器官镁累积量变化如表15所示，镁主要积累于叶片。叶丛状短枝叶片中镁累积量在4月10—20日快速增加，4月20日—5月10日小幅增长后趋于稳定，在约3 g•株$^{-1}$处波动；生长枝叶片中镁累积量持续增加，5月30日后增速减缓并趋于稳定，7月10日达到峰值（4.32 g•株$^{-1}$），7月20日时叶丛状短枝叶片和生长枝叶片中镁累积总量占到地上部新生器官总量的64.36%。生长枝枝条镁积累量变化趋势与叶片相似，6月30日时达到峰值，为1.35 g•株$^{-1}$。随果实膨大，果实镁累积量递增，7月20日达到峰值（3.20 g•株$^{-1}$）。5月30日时，地上部新生器官镁累积量占整株树总量的67.74%，表明镁

表 14　地上部不同新生器官镁含量变化

Table 14　Changes in magnesium content of different aboveground new aerial organs　%

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit
04-10	0.37±0.03 b	0.37±0.03 b	0.19±0.02 ab	0.23±0.02 a
04-20	0.50±0.03 a	0.44±0.04 ab	0.20±0.02 a	0.15±0.02 b
04-30	0.47±0.04 ab	0.41±0.03 ab	0.18±0.02 ab	0.10±0.02 cde
05-10	0.50±0.02 a	0.47±0.04 ab	0.18±0.02 ab	0.13±0.02 bc
05-20	0.47±0.04 a	0.47±0.04 ab	0.17±0.02 ab	0.12±0.02 bcd
05-30	0.54±0.02 a	0.51±0.04 a	0.14±0.01 bc	0.13±0.01 bc
06-10	0.51±0.04 a	0.50±0.04 a	0.11±0.01 c	0.12±0.01 bcd
06-20	0.49±0.04 a	0.46±0.04 ab	0.11±0.01 c	0.09±0.01 def
06-30	0.48±0.04 a	0.45±0.04 ab	0.15±0.02 abc	0.07±0.02 ef
07-10	0.51±0.04 a	0.49±0.07 ab	0.12±0.01 c	0.06±0.01 f
07-20	0.49±0.03 a	0.48±0.04 ab	0.15±0.01 abc	0.08±0.02 ef

表 15　地上部不同新生器官镁累积量变化

Table 15　Changes in magnesium accumulation of different aboveground new aerial organs　（$g \cdot plant^{-1}$）

日期 Date	叶丛状短枝叶片 Leave of rosette-short shoot	生长枝叶片 Vegetative shoot leave	生长枝枝条 Vegetative shoot	果实 Fruit	总计 Total
04-10	1.26±0.09 d	0.23±0.04 i	0.01±0.005 f	0.03±0.004 g	1.52±0.07 h
04-20	2.50±0.23 c	0.77±0.07 h	0.14±0.02 f	0.09±0.02 g	3.30±0.25 g
04-30	2.92±0.33 bc	1.30±0.09 g	0.33±0.04 e	0.09±0.02 g	4.31±0.30 f
05-10	3.33±0.39 ab	2.08±0.15 f	0.61±0.07 d	0.19±0.02 g	6.00±0.32 e
05-20	3.06±0.31 abc	2.84±0.19 e	0.89±0.09 c	0.33±0.02 fg	6.38±0.50 de
05-30	3.63±0.37 a	3.31±0.18 d	0.95±0.08 bc	0.54±0.08 ef	8.02±0.60 cd
06-10	3.30±0.35 ab	3.53±0.23 cd	0.80±0.08 c	0.69±0.16 de	8.56±0.61 c
06-20	2.88±0.20 bc	3.20±0.20 de	0.84±0.08 c	0.98±0.12 cd	7.54±0.51 c
06-30	3.32±0.22 ab	3.89±0.24 bc	1.35±0.12 a	1.32±0.07 c	9.71±0.50 b
07-10	3.29±0.20 ab	4.32±0.28 a	1.08±0.10 b	1.86±0.24 b	10.39±0.16 b
07-20	3.57±0.32 a	4.05±0.27 ab	1.32±0.14 a	3.20±0.41 a	11.84±0.82 a

需求主要集中在营养生长阶段。

3　讨　论

本研究以东南沿海地区8年生翠冠梨为试材，通过同步监测“生长量-元素浓度”，首次系统揭示了枝叶萌芽至果实采收期地上部新生器官（叶丛状短枝叶片、生长枝、果实）生长动态与氮、磷、钾、钙、镁5种矿质元素积累量变化的耦合关系，明确了不同生育阶段的养分需求，为东南沿海产区砂梨科学施肥提供了更精准的理论支撑。

3.1　树体生长动态与矿质元素需求的阶段耦合

翠冠梨地上部新生器官生长的阶段性特征，与杨晓平等[14]关于翠冠梨果实、新梢生长动态的研究结论一致，且这种生长节奏与矿质元素需求形成高度协同的耦合关系：叶丛状短枝叶片集中于枝叶萌芽后至4月20日前发育，叶片质量显著增加，氮、磷、钾、镁在叶丛状短枝叶片中快速积累，为后续光合作用奠定基础；然后各元素含量、累积量基本未大幅增加，表明4月20日前后叶片发育基本完成。生长枝于4月10日—6月10日快速伸长，枝条同步增粗，氮、磷、钾、钙、镁元素快速吸收累积；6月10日后枝条纵向生长停止，转为加粗生长，除钙外其他元素吸收速率放缓，而钙在叶丛状短枝和生长枝叶片中仍持续积累，这与林敏娟等[7]、贾兵等[8]关于梨叶片钙含量随生长持续增加的研究结论相符。钙为细胞壁结构成分，参与生物与非生物胁迫响应[15-16]，在东南沿海夏季高温、高湿、易受病虫害与台风影响的环境下，其持续积累增强了叶片抗逆性[17]，对维持叶片光合性能具有重要作用。5月20日后，树体从营养生长向生殖生长转换：5月20日—6月10日营养生长

减慢，果实开始快速生长；6月10日后营养生长基本停止，果实进入膨大盛期，至7月20日采收前，单果质量增长568.07%；叶丛状短枝叶片氮、磷含量和累积量均下降，生长枝中氮、磷及叶丛状短枝叶片和生长枝中钾、镁含量基本维持稳定或略有波动，而果实中氮、磷、钾、镁累积量则分别增加138.53%、378.57%、376.18%和363.77%，表明树体养分供给重心向果实转移。这一养分分配转向体现了树体保障繁殖的自我调节机制，也为东南沿海梨区科学施肥提供了理论依据。

3.2 矿质元素的器官分配规律及其功能关联

翠冠梨地上部新生器官中5种矿质元素的分配呈现显著功能导向性，且与器官生理功能高度契合。7月20日叶丛状短枝与生长枝叶片中氮、钙、镁累积量分别占地上部新生器官总累积量的63.91%、87.78%、64.36%，表明氮、钙、镁主要富集于叶片，这与姜喜等[9]、王亚茹等[18]、史祥宾等[19]关于梨、葡萄叶片氮、钙、镁富集的研究结果一致。氮是叶绿体结构与叶绿素形成的关键元素，钙维持细胞壁与叶片结构稳定性，镁是叶绿素中心原子，三者协同保障叶片高光合效率，为树体生长与果实发育提供物质基础。

钾主要积累于果实，7月20日果实钾累积量为地上新生器官钾累积量的59.53%，与Hale[20]关于葡萄果实钾富集的研究结论一致。钾能够维持果实细胞水势梯度平衡[21]，提高细胞膨压，直接参与细胞膨大核心过程；同时，钾还能提高果实维生素C与可溶性固形物含量、改善果实色泽与风味、增大果实体积、增加果皮厚度、减少生理病害等[22]。因此，充足的钾元素供给是实现果树丰产、稳产和果实品质提升的重要保障。

磷是ATP、核酸的重要组分，参与植物呼吸作用、能量贮存和传递、细胞分裂和增大等多种基础代谢过程[23]。本研究中各器官磷含量相对均衡与之相符，进一步验证了林敏娟等[7]“磷素缺乏会同时抑制新梢生长与果实发育”的结论。虽然，不同时期各器官生长量存在差异，但自枝叶萌芽至果实采收期间，整株树对磷的持续需求相对均衡。因此，生产上应将磷肥作为基肥施用或全程配合施用，避免某一生长阶段磷素缺乏而导致树体生长受阻。

3.3 基于需求规律和当前管理的施肥优化策略

结合翠冠梨生长动态与矿质元素需求特征，构建兼顾树体生长与果实品质的“阶段靶向”施肥策略，具体如下：

萌芽至新梢快速生长期（4月10日—5月20日）：此阶段核心需求为氮素，配合磷、钾、镁以促进新梢伸长与叶片发育。试验园于4月17日施用的尿素+复合肥方案可维持氮素供应，也解释了本研究中叶丛状短枝和生长枝叶片氮含量下降期较贾兵等[8]、苏艳丽等[24]的研究推迟的现象。综合考虑从肥料施入到转运至器官所需时间[25]，可提早于4月10日前施肥，并适当降低复合肥中磷钾比例，同时配合叶面补施钙镁肥。

果实膨大前期（5月20日—6月10日）：新梢即将停止生长，果实逐渐成为树体养分的主要库，需适当提高钾肥比例。鉴于果实转色至成熟期钾优先供给果实的特性[26]，试验园于5月28日施用低磷复合肥+硫酸钾后，叶片中钾含量和累积量提高，表明其已满足果实发育对钾的需求，不过所施肥料中氮偏多，可适当降低复合肥中氮的比例，同时叶面喷施1~2次钙肥，提前为果实快速膨大和品质形成储备营养。

果实膨大盛期至果实成熟期（6月10日—7月20日）：钾需求达到峰值，需减少氮肥（避免枝叶徒长与果实贪青），并补充磷、钾肥。试验园于6月23日施用的尿素+复合肥方案中氮肥偏多，建议减少尿素用量，并将复合肥调整为低氮中磷高钾型（如15-20-25），以满足果实快速发育阶段对磷、钾的持续需求。

综上所述，在常规施肥管理基础上，适当调整施肥时间和肥料种类。具体如下：第一次施肥时间调整为4月10日前，选用尿素+高氮低磷低钾型复合肥+叶面钙镁肥；第二次施肥选用低氮低磷高钾型复合肥+硫酸钾+叶面钙肥；第三次施肥减少尿素用量，选用低氮中磷高钾型复合肥。该施肥方案为宁波市乃至东南沿海砂梨肥料管理提供了参考，但仍需进一步试验验证，目前仅供实际生产参考。

4 结 论

翠冠梨地上部新生器官生长呈阶段性特征：叶丛状短枝叶片于4月20日基本完成发育，生长枝于6月10日基本停止纵向伸长，但其直径仍持续增粗至果实采收期；果实于6月10日进入快速膨大期，直至采收结束。矿质元素需求与分配具有显著阶段特异性：氮、镁需求集中于4—5月，主要分配于叶片；

磷需求贯穿全生育期，各阶段相对均衡；钾需求峰值在6—7月，优先分配果实；钙持续积累于叶片，果实中钙含量较低。科学施肥需遵循阶段靶向原则：4—5月以氮肥为主，同时补充钙镁肥；5—6月提高钾元素比例，补充钙肥；6—7月重点施用钾肥。本研究明确了东南沿海地区翠冠梨的养分需求规律，为砂梨产区科学施肥提供了理论依据与实践参考。

参考文献 References：

[1] 张绍铃，谢智华 . 我国梨产业发展现状、趋势、存在问题与对策建议[J]. 果树学报，2019，36(8)：1067-1072.
Zhang Shaoling，Xie Zhihua. Current status，trends，main problems and the suggestions on development of pear industry in China[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(8)：1067-1072.

[2] 张玉星 . 果树栽培学总论[M]. 4 版 . 北京：中国农业出版社，2011.
Zhang Yuxing. General theory of fruit tree cultivation[M]. 4th ed. Beijing：China Agriculture Press，2011.

[3] 顾会战，苟小梅，蔡艳，吴杰，李涛，叶想，何佶弦，张启莉，王栋 . 烤烟油菜轮作及平衡施肥对土壤速效钾和烟叶钾的影响[J]. 农学学报，2022，12(12)：23-27.
Gu Huizhan，Gou Xiaomei，Cai Yan，Wu Jie，Li Tao，Ye Xiang，He Jiexuan，Zhang Qili，Wang Dong. Effects of tobacco-rape rotation and balanced fertilization on soil available potassium and potassium in tobacco leaves[J]. Journal of Agriculture，2022，12(12)：23-27.

[4] 何佶弦，苟小梅，蔡艳，肖玲，李涛，罗凯文，张启莉，孙志普，顾会战 . 烤烟油菜轮作及平衡施肥对土壤有机碳含量的影响[J]. 农学学报，2022，12(11)：32-36.
He Jixian，Gou Xiaomei，Cai Yan，Xiao Ling，Li Tao，Luo Kaiwen，Zhang Qili，Sun Zhipu，Gu Huizhan. Effects of tobacco-rape rotation and balanced fertilization on organic carbon content of tobacco soil[J]. Journal of Agriculture，2022，12(11)：32-36.

[5] 张宁洁，李金娟，王春霖，栗孟飞 . N、P、K 平衡施肥对金银花产量和品质及相关基因表达的影响[J]. 甘肃农业大学学报，2022，57(4)：88-95.
Zhang Ningjie，Li Jinjuan，Wang Chunlin，Li Mengfei. Effects of the balanced fertilization of N，P and K on the yield，quality and related gene expression in *Lonicera japonica*[J]. Journal of Gansu Agricultural University，2022，57(4)：88-95.

[6] 李旺雄，张洋，唐中祺，郁继华 . 平衡施肥对设施基质栽培番茄生长、品质、矿质元素含量与产量的影响[J]. 浙江农业学报，2022，34(8)：1648-1660.
Li Wangxiong，Zhang Yang，Tang Zhongqi，Yu Jihua. Effects of balanced fertilization on growth，quality，mineral elements contents and yield of tomato cultivated in substrate in greenhouse[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis，2022，34(8)：1648-1660.

[7] 林敏娟，王振磊，徐继忠 . 华山梨生长期矿质元素含量的变化[J]. 塔里木大学学报，2009，21(1)：15-18.
Lin Minjuan，Wang Zhenlei，Xu Jizhong. Changes of mineral nutrient elements in growing period of whasan pear[J]. Journal of Tarim University，2009，21(1)：15-18.

[8] 贾兵，衡伟，刘莉，叶振风，朱立武 . 砀山酥梨叶片矿质元素含量年变化及其相关性分析[J]. 安徽农业大学学报，2011，38(2)：212-217.
Jia Bing，Heng Wei，Liu Li，Ye Zhenfeng，Zhu Liwu. Annual changes of mineral elements in the leaves of pear (*Pyrus bretchnederi* cv. Dangshansuli) and their correlation analysis[J]. Journal of Anhui Agricultural University，2011，38(2)：212-217.

[9] 姜喜，马宝蕴，陈加利，张琦 . 香梨生长季果实和叶片矿质元素含量的变化[J]. 北方园艺，2013(12)：15-18.
Jiang Xi，Ma Baoyun，Chen Jiali，Zhang Qi. Variation of mineral element content in fragrant pear fruits and leaves during its development[J]. Northern Horticulture，2013(12)：15-18.

[10] 王晓庆，施春晖，张学英，褚长彬，吴淑杭，骆军 . 上海‘翠冠’梨园土壤和叶片养分状况调查分析[J]. 上海农业学报，2018，34(1)：30-36.
Wang Xiaoqing，Shi Chunhui，Zhang Xueying，Chu Changbin，Wu Shuhang，Luo Jun. Nutrient status analysis of soil and leaves in ‘Cuiguan’ pear orchards in Shanghai[J]. Acta Agriculturae Shanghai，2018，34(1)：30-36.

[11] 徐锴，赵德英，张少瑜，闫帅，侯桂学 . 五九香梨树不同发育期营养元素需求规律[J]. 浙江农业学报，2023，35(6)：1328-1337.
Xu Kai，Zhao Deying，Zhang Shaoyu，Yan Shuai，Hou Guixue. Requirement characteristics of nutrient elements in different development stages of Wujiuxiang pear[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis，2023，35(6)：1328-1337.

[12] NY/T 2017—2011 植物中氮、磷、钾的测定[S].
NY/T 2017—2011 Determination of nitrogen，phosphorus and potassium in plants[S].

[13] GB/T 23375—2009 蔬菜及其制品中铜、铁、锌、钙、镁、磷的测定[S].
GB/T 23375—2009 Determination of copper，iron，zinc，calcium，magnesium and phosphorus content in vegetables and derived products[S].

[14] 杨晓平，胡红菊，田瑞，张靖国，陈启亮 . 翠冠梨果实、新梢生长动态及相关性观察[J]. 长江大学学报(自然科学版)，2010，7(1)：6-9.
Yang Xiaoping，Hu Hongju，Tian Rui，Zhang Jingguo，Chen Qiliang. Study on pertinence and change of Cuiguan pear twig and fruit growth[J]. Journal of Yangtze University (Nature Science Edition)，2010，7(1)：6-9.

[15] Khan M N，Siddiqui M H，Mohammad F，Naeem M，Khan M M A. Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L.) from NaCl stress by inducing antioxidative defence system and osmoprotectant accumulation[J]. Acta Physiologiae Plantarum，2010，32(1)：121-132.

[16] Aldon D，Mbengue M，Mazars C，Galaud J P. Calcium signalling in plant biotic interactions[J]. International Journal of Molecular Sciences，2018，19(3)：665.

[17] Forand A D，Finfrock Y Z，Lavier M，Stobbs J，Qin L，Wang S，Karunakaran C，Wei Y D，Ghosh S，Tanino K K. With a little help from my cell wall：Structural modifications in pectin may play a role to overcome both dehydration stress and fungal pathogens[J]. Plants，2022，11(3)：385.

[18] 王亚茹，王永博，李晓，李勇，贾中伏，王玉平，王迎涛 . 7 个梨主栽品种生长季钙含量的动态变化[J]. 河北农业科学，2014，18(6)：18-20.
Wang Yaru，Wang Yongbo，Li Xiao，Li Yong，Jia Zhongfu，Wang Yuping，Wang Yingtao. Analysis on the dynamic changes of calcium content in growing season of seven main pear cultivars[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences，2014，18(6)：18-20.

[19] 史祥宾，王孝娣，王宝亮，王志强，冀晓昊，王小龙，刘凤之，王海波 . ‘红地球’葡萄氮、磷、钾、钙、镁的年需求特性研究[J]. 园艺学报，2021，48(11)：2146-2160.
Shi Xiangbin，Wang Xiaodi，Wang Baoliang，Wang Zhiqiang，Ji Xiaohao，Wang Xiaolong，Liu Fengzhi，Wang Haibo. Requirement rule of nitrogen，phosphorus，potassium，calcium and magnesium of ‘Red Globe’ grapevine[J]. Acta Horticulturae Sinica，2021，48(11)：2146-2160.

[20] Hale C R. Relation between potassium and the malate and tartrate contents of grape berries[J]. Vitis，1977，16(1)：9-19.

[21] Obenland D，Feliziani E，Zhu S，Zhao X，Margosan D A，Gabler F M，Van Zyl S，Romanazzi G，Smilanick J L，Beno-Moualem D，Kaplunov T，Lichter A. Potassium application to table grape clusters after veraison increases soluble solids by enhancing berry water loss[J]. Scientia Horticulturae，2015，187：58-64.

[22] Kumar A R，Kumar N，Kavino M. Role of potassium in fruit crops：A review[J]. Agricultural Reviews，2020，41(2)：127-136.

[23] 杨洪强 . 果树生理学[M]. 北京：中国农业出版社，2022.
Yang Hongqiang. Fruit tree physiology[M]. Beijing：China Agriculture Press，2022.

[24] 苏艳丽，杨健，李秀根，王龙，王苏珂，薛华柏 . 两个红色梨生长期矿质元素的变化及相关性分析[J]. 中国南方果树，2017，46(5)：94-96.
Su Yanli，Yang Jian，Li Xiugen，Wang Long，Wang Suke，Xue Huabai. Changes and correlation analysis of mineral elements in two red pear cultivars during the growth period[J]. South China Fruits，2017，46(5)：94-96.

[25] Marschner H，Marschner P. Marschner’s mineral nutrition of higher plants[M]. 3rd ed. Waltham：Academic Press，2012.

[26] Williams L E，Biscay P J. Partitioning of dry weight，nitrogen，and potassium in Cabernet Sauvignon grapevines from anthesis until harvest[J]. American Journal of Enology and Viticulture，1991，42(2)：113-117.