

分类号:

密级:



华中农业大学

HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY

硕士学位论文

MASTER'S DEGREE DISSERTATION

不同氮磷钾配比施肥对桃苗生长和生理的影响

EFFECTS OF DIFFERENT RATIOS OF NITROGEN,
PHOSPHORUS, AND POTASSIUM FERTILIZATION ON
GROWTH AND PHYSIOLOGY OF PEACH SEEDLINGS

研究生: 易先耀
CANDIDATE: YI XIANYAO

学号: 2020305120142
STUDENT NO.: 2020305120142

学位类别: 农业硕士
DEGREE TYPE: MASTER OF AGRICULTURE

导师: 刘军伟 副研究员
SUPERVISOR: ASSOCIATE PROF. LIU JUNWEI

中国 武汉

WUHAN, CHINA

二〇二三年六月

JUNE, 2023

华中农业大学硕士学位论文

不同氮磷钾配比施肥对桃苗生长和生理的影响

Effects of different ratios of nitrogen, phosphorus, and
potassium fertilization on growth and physiology of peach
seedlings

研 究 生：易先耀

学 号：2020305120142

指 导 教 师：刘军伟 副研究员

指 导 小 组：李国怀 教授

姜 玲 教授

刘继红 教授

刘永忠 教授

李春龙 教授

专 业：农艺与种业

研究方向：果树栽培生理

获得学位名称：农学硕士

获得学位时间：2023 年 6 月

华中农业大学园艺林学学院

二〇二三年六月

目录

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
缩略词表.....	iv
1 前言.....	1
1.1 课题的提出	1
1.2 文献综述	1
1.2.1 氮素对于果树生长发育的影响.....	1
1.2.2 磷素对于果树生长发育的影响.....	2
1.2.3 钾素对于果树生长发育的影响.....	3
1.2.4 氮磷钾配施相关研究.....	4
1.2.5 桃树生长及主要养分吸收特征.....	5
1.3 研究目的及意义	6
2 材料与方法.....	7
2.1 试验材料	7
2.1.1 植物材料.....	7
2.1.2 供试肥料.....	7
2.1.3 仪器及药品.....	7
2.2 试验方法	7
2.2.1 桃苗的施肥处理.....	7
2.2.2 桃苗生物量的测定.....	9
2.2.3 桃苗根系形态的测定.....	9
2.2.4 桃苗叶绿素含量和叶绿素荧光特征的测定.....	9
2.2.5 可溶性糖含量的测定.....	10
2.2.6 脯氨酸含量的测定.....	10
2.2.7 丙二醛、过氧化氢、超氧阴离子含量的测定.....	11
2.2.8 SOD、POD 活性、总抗氧化能力的测定.....	11
2.3 数据分析	11
3 结果与分析.....	12

3.1 不同氮磷钾配比施肥对桃苗生长的影响	12
3.1.1 不同氮磷钾配比施肥对桃苗株高和茎粗的影响	12
3.1.2 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶片数和叶片厚度影响	14
3.1.3 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶表面积的影响	15
3.1.4 不同氮磷钾配比施肥对桃苗地上部和地下部生物量的影响	16
3.1.5 不同氮磷钾配比施肥对桃苗根系的影响	17
3.2 不同氮磷钾配比施肥对桃苗光合能力的影响	20
3.2.1 不同氮磷钾配比施肥对桃苗 SPAD 值的影响	20
3.2.2 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶绿素含量的影响	20
3.2.3 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶绿素荧光特征的影响	21
3.3 不同氮磷钾配比施肥对桃苗生理生化指标的影响	22
3.3.1 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶片超氧阴离子含量的影响	22
3.3.2 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶片过氧化氢和丙二醛含量的影响	23
3.3.3 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶片可溶性糖和脯氨酸含量的影响	24
3.3.4 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶片 SOD 和 POD 活性的影响	25
3.3.5 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶片总抗氧化能力的影响	26
4 讨论	27
4.1 不同氮磷钾配比施肥影响了桃苗的生长状况	27
4.2 不同氮磷钾配比施肥影响了桃苗的生理生化指标	28
5 总结与展望	30
参考文献	31
附录	40
致谢	41

摘要

桃 (*Prunus persica*) 是原产我国西北地区的蔷薇科核果类果树, 在我国栽培范围广泛, 产量仅次于柑橘、苹果和梨之后, 位于第四。氮磷钾是桃树生长发育过程中不可或缺的营养元素, 但目前关于桃苗期施肥研究相对较少。因此, 本试验以盆栽桃苗为试材, 在保证每种处理的有效氮、有效磷和有效钾的总量相同的情况下, 设置了 4 种处理, 有效氮磷钾的比值分别为 1: 1: 1 (T1)、2: 1: 1 (T2)、2: 1: 2 (T3)、2: 1: 3 (T4)。通过比较不同氮磷钾配比下桃苗的生长表现和生理生化指标, 探究其对桃苗生长发育的影响, 为桃树苗期的合理施肥提供一定的指导意义。主要研究结果如下:

1、不同氮磷钾配比施肥对桃盆栽幼苗生长发育的影响: T1 和 T2 处理中桃苗生物量的增幅效果最明显。株高增长量、茎粗增长量、叶片数、地上部干重、地下部干重、地上部鲜重、地下部鲜重均显著高于另外两种处理。从根系的生长状况来看, 桃苗的根尖数, 4 种处理之间无显著性的差异。而总根长、根体积、根平均直径、根总面积和侧根数, T2 处理的增幅效果最好, T1 次之。在叶片厚度和叶表面积方面, T3 和 T4 处理均显著高于 T1 和 T2 处理。桃苗叶片的光系统II (PSII) 最大光能转换效率 (F_v/F_m) T2、T3、T4 处理间并无显著性差异, 但都显著高于 T1 处理。

2、不同氮磷钾配比施肥对桃盆栽幼苗叶片抗性相关生理特性的影响: T3 和 T4 处理对于植物的抗性提升效果最明显。T4 处理的桃苗叶片过氧化氢含量、丙二醛含量、超氧阴离子含量显著低于 T1 和 T2 处理; 脯氨酸含量和总抗氧化能力最高且显著高于 T1 和 T2 处理。另外, T4 处理对桃苗超氧化物歧化酶活性和过氧化物活性的促进效果最好, 分别比 T2 处理显著提高 40.4%和 166.7%。

3、综上所述, 在桃幼苗生长前期应在一定范围内多施氮肥, 可以采用 2:1:1 的氮磷钾配比来提高桃幼苗的生物量, 促进桃幼苗的根系发育; 生长后期应在一定范围内多施钾肥, 可以采用 2: 1: 3 的氮磷钾配比来提高桃幼苗的抗性。

关键词: 桃; 氮磷钾配比; 生长表现; 合理施肥

ABSTRACT

Peach (*Prunus persica*) is a stone fruit tree of the Rosaceae family originating from the northwest region of China. It is widely cultivated in China and has a yield close to citrus, apple, and pear, ranking fourth. Nitrogen, phosphorus, and potassium are essential nutrients in the growth and development of peach trees, but little the studies on fertilization of peach seedlings are quite limited. Therefore, in this study, peach seedlings were used as materials, and four treatments were set up while ensuring the same total amount of available nitrogen, available phosphorus, and available potassium for each treatment. The ratios of available nitrogen, phosphorus, and potassium were 1:1:1 (T1), 2:1:1 (T2), 2:1:2 (T3), and 2:1:3 (T4), respectively. By comparing the growth status and physiological and biochemical indexes of peach seedlings under different ratios of nitrogen, phosphorus, and potassium, this study aims to uncover its impact on the growth performance and physiological status of peach seedlings, providing some guidance for rational fertilization during the seedling stage of peach trees. The main findings of this study are as follows:

1. The effect of different nitrogen phosphorus, potassium and fertilization ratios on the growth performance of potted peach seedlings: T1 and T2 treatments showed the most significant increase in peach seedling biomass. The growth rate of plant height, stem diameter, number of leaves, aboveground dry weight, underground dry weight, aboveground fresh weight, and underground fresh weight were significantly higher than the other two treatments. From the perspective of root growth, there was no significant difference in the number of root tips of peach seedlings among the four treatments. As for the total root length, root volume, root average diameter, total root area and lateral root number, the increase effect of T2 treatment was the best, followed by T1 treatment. In terms of leaf thickness and leaf surface area, T3 and T4 treatments were significantly higher than T1 and T2 treatments. There was no significant difference in the photosystem II (PS II) maximum light energy conversion efficiency (F_v/F_m) of peach seedling leaves among T2, T3 and T4 treatments, but they were all significantly higher than T1 treatment.

2. The effect of different nitrogen, phosphorus and potassium fertilization ratios on the physiological characteristics related to stress resistance of potted peach seedlings leaves: T3 and T4 treatments have the most obvious effect on improving plant resistance. The contents of hydrogen peroxide, malondialdehyde and superoxide anion in peach seedling leaves treated with T4 were significantly lower than those treated with T1 and T2; The content of proline and total antioxidant capacity were the highest and significantly higher than those treated with T1 and T2. In addition, T4 treatment had the best promotion effect on superoxide dismutase activity and superoxide activity of peach seedlings, which were significantly increased by 40.4% and 166.7% compared with T2 treatment.

3. In summary, during the early growth stage of peach seedlings, nitrogen fertilizer should be applied within a certain range. A 2:1:1 ratio of nitrogen, phosphorus, and potassium can be used to increase the biomass of peach seedlings and strengthen their root development. In the later stage of growth, potassium fertilizer should be applied within a certain range, and a 2:1:3 ratio of nitrogen, phosphorus, and potassium can be used to improve the stress resistance of peach seedlings.

Keywords: Peach; Ratio of nitrogen, phosphorus, and potassium; Growth and development; Reasonable fertilization

缩略词表

缩写词	英文名称	中文名称
Abbreviation	English Name	Chinese Name
F ₀	Minimal fluorescence	初始荧光产量
F _m	Maximal fluorescence	最大荧光产量
F _v	Variable fluorescence	可变荧光
H ₂ O ₂	Hydrogen peroxide	过氧化氢
MDA	Malondialdehyde	丙二醛
O ₂ ⁻	Superoxide anion	超氧阴离子
POD	Peroxidase	过氧化物酶
Pro	Proline	脯氨酸
SOD	Superoxide dismutase	超氧化物歧化酶
SR	Superoxide radical	超氧阴离子
SSC	Soluble sugar content	可溶性糖含量
T-AOC	Total antioxidant capacity	总抗氧化能力

1 前言

1.1 课题的提出

桃 (*Prunus persica*) 属于蔷薇科李属植物, 起源于中国, 在我国有四千多年的栽培历史, 现已被广泛种植于世界各地。自 1993 年起, 我国桃栽培面积已超越其他国家, 稳居世界第一 (俞明亮等 2019)。随着生活水平的提高, 人们对桃的品质提出了更高的要求。许多因素会对桃树的产量和品质造成影响, 如光照、水分、土壤、修剪措施等。其中, 矿质元素对桃的生长发育意义重大, 为其产量和品质提供物质保障 (吴霜等 2023)。氮、磷、钾是桃树生长必需的三大主要营养元素, 其施肥配比直接影响到桃树的生长和发育。因此, 本研究以桃幼苗为试验材料, 在盆栽条件下探究不同的氮磷钾配比施肥对桃苗生长发育的影响, 为桃苗期的施肥提供一定的参考。

1.2 文献综述

1.2.1 氮素对于果树生长发育的影响

氮是果树生长发育中最重要的元素之一, 在果树的营养需求中起着至关重要的作用。氮是蛋白质和核酸等碱性有机化合物的重要组成部分, 参与了植物生长发育的许多重要过程 (郭宏娟等 2022)。

植物主要通过根系的根毛区域来吸收土壤中的氮素, 氮在土壤中以多种形式存在, 包括氨态氮、硝酸盐、亚硝酸盐和有机氮等。植物对氮的吸收主要通过以下几种形式: 硝酸盐氮 (NO_3^-): 大多数植物可以通过根毛主动吸收硝态氮, 并将其还原为氨基酸等有机物质 (Chakwizira et al 2015, Ming et al 2020); 氨氮 (NH_4^+): 一些植物可以直接吸收氨态氮并将其合成氨基酸等有机物质; 有机氮: 植物还可以从土壤中吸收有机氮, 并通过分泌酶将其降解为氨基酸形式的无机氮, 然后被吸收和利用 (常婷等 2019); 亚硝酸盐氮 (NO_2^-): 亚硝酸盐氮不是植物吸收氮的常见形式, 但当一些植物 (如豌豆) 在土壤中缺乏硝酸

盐氮时，它们也可以吸收亚硝酸盐氮来满足其对氮营养的需求（耿杰等 2018）。

在果树生长过程中，氮素可以促进果树的叶片生长和分枝生长，同时促进果实的生长和发育（刘帅等 2022）。在果实发育期，氮素的供应可以增加果实的大小和重量，提高果实的品质和产量（彭玲等 2020）。氮素的供应量对果实的品质有着重要影响。如果氮素供应过多，会导致果实过于肥大，口感变差，品质下降。相反，如果氮素供应不足，会导致果实品质差，口感变差，营养价值降低（冯海萍等 2018，王端等 2021）。氮不仅在植物生长和产量形成中起着重要作用，而且在植物抗逆性中也发挥着重要作用。研究表明，适当的氮素供应可以增强植物的抗逆性，如抗旱性、抗寒性、抗病性等（梁慧敏等 2003，梅惠敏等 2022）。

总之，氮在果树的生长发育中起着至关重要的作用。在果树的生长过程中，适当的施氮可以促进果树的生长发育，提高果实的产量和品质，增强果树的抗病能力。但是，如果氮素供应过多或者不足，就会对果树的生长发育产生负面影响。

1.2.2 磷素对于果树生长发育的影响

磷是一种重要的植物营养元素，对果树的生长发育具有重要影响（肖媛媛等 2022）。磷通常以无机磷的形式被植物吸收。 H_2PO_4^- ：它是无机磷最重要的形式之一，也是植物在缺乏磷的情况下最容易吸收的形式之一。 HPO_4^{2-} ：它是无机磷的一种次生形式，只有当土壤中磷含量高时，植物才能吸收。 PO_4^{3-} ：它是一种难以吸收的无机磷，只有当土壤中的磷含量非常丰富时，植物才能吸收。有机磷是一种含有磷的有机分子，包括植物和动物残留物、生物膜和细胞核酸。植物可以释放特定的酶，将有机磷分解为无机磷后再被吸收和利用（徐壮等 2018，颜晓军等 2020，冶赓康等 2023）。

磷在果树的生长过程中起着多种作用，包括促进根系发育、促进花芽分化和开花、促进果实发育等（熊欢等 2018，梁清干等 2021，周慧晶等 2022）。磷素对果树的根系发育具有重要影响。磷素是构成细胞膜的重要成分之一，对于细胞膜的形成和细胞分裂具有重要的作用（Sergei et al 2019）。同时，磷素还参与植物体内的多种代谢过程，如 ATP 的合成、蛋白质合成和碳水化合物代谢等。这些代谢过程对于根系的发育和生长至关重要（Wang et al 2014，Chu et al

2018, Tantray et al 2020)。磷素的缺乏会导致果树的根系生长缓慢, 从而影响其吸收水分和养分的能力, 影响其生长和发育。磷肥的适量施用可以促进根系发育, 增加根系表面积和吸收面积, 增强果树对其他养分的吸收能力, 从而促进果树的生长和增加产量 (Pan and Hu 2020, Becquer et al 2021, Zhu et al 2022)。磷素对果树的花芽分化和开花也具有重要影响。花芽分化是果树发育过程中的一个关键环节, 它决定了果树是否能够正常开花和结果。研究表明, 在缺磷时, 苹果花芽分化的进程会出现停滞 (孙琛梅等 2022)。磷素的充足供应可以促进果树的花芽分化和开花, 从而增加果实的产量和质量。

磷素对果实的发育也具有重要影响。果实的生长和发育需要大量的能量供应, 而 ATP 的合成是需要磷素参与的。磷素缺乏时, 果实的能量供应不足, 导致果实的生长缓慢或者停滞不前 (Meng et al 2021)。此外, 磷素还参与果实的糖代谢, 对果实的品质和口感也有一定的影响 (苏静等 2022)。适量施磷可以促进果实的色泽和糖度等品质指标的提高, 但过量施用则可能会导致果实品质下降。

此外, 磷对果树的抗逆性也有一定的影响。适当施磷可以增强果树的抗旱、抗寒、抗病能力, 提高果树的适应性, 减少环境变化对果实质量和产量的损失 (Pavan et al 2022, Olatunbosun et al 2021)。

总之, 磷素对果树生长的影响非常重要。果树需要适量的磷素供应, 才能够正常生长和发育, 产生高品质、高产量的果实。

1.2.3 钾素对于果树生长发育的影响

钾素是植物必需的营养元素之一, 对于植物的生长发育有着重要的影响 (张伍等 2023)。钾在植物体内参与多种生物化学过程, 如调节渗透压、激活酶活性、维持酸碱平衡等 (Temilomo et al 2022)。植物通过根系的根毛区以 K^+ 离子的形式吸收土壤中的钾, 并将其输送到植物的各个部位 (黄文镜等 2023)。一些钾也可以有机形式 (如蛋白质、酸、酯等) 存在于植物中, 但其含量通常远低于离子形式。

适量施钾可以促进果树的生长和提高产量。钾肥的施用可以促进果树的根系生长, 增加果实的数量和大小, 从而提高产量 (Kuzin and Solovchenko 2021)。钾的使用对土壤和环境影响相对较小。适量施钾可以增加土壤肥力, 提高土壤

的团粒结构，改善土壤物理性质（Moyin-Jesu 2018, Wang et al 2022）。

在果树生长发育的不同阶段，钾的作用有所不同。在果树幼苗期，钾素对于植株的生长发育起着重要的促进作用。首先，钾素可以促进植物根系的生长，增加根系的吸收面积和吸收能力，提高植物的水分和养分利用效率（Zhang et al 2020, Yang et al 2021）。此外，钾素还能够促进植物茎叶的生长和发育，增加叶面积和光合作用量，提高光合作用效率，从而提高植株的养分合成能力和生物量积累（高志红等 2011, 何刚等 2016）。在果树开花期，钾素对于花芽分化和花芽生长发育有着重要的作用（刘俊松和张上隆 2010）。有研究表明，钾素会对酿酒葡萄的花芽分化产生影响，进而影响到结果枝，结果率和果实产量（王锐 2016）。钾素可以提高植物的抗寒性和抗旱性，从而减少因环境逆境造成的花芽减少和不良发育（黄显淦等 2000）。此外，钾素还能够促进植物的糖代谢和激素合成，提高花芽分化和花芽发育的效率，从而增加花芽的数量和质量（柳洪鹏等 2012）。在果树果实生长期，钾素对于果实的生长发育和品质形成有着重要的作用。钾素可以促进果实的吸收和利用水分和养分，增加果实的生长速度和重量积累量。同时，钾素还能够促进果实的糖代谢和酸碱平衡，提高果实的品质和口感（Daoud et al 2020, Morais et al 2021）。适量施钾可以促进果实的糖度和香味等品质指标的提高，但过量施用则可能会导致果实品质下降（Wen et al 2021）。在果树成熟期，钾素对于果实的品质和储存有着重要的作用。钾素可以提高果实的硬度和储存性，减少果实腐烂和失水，从而增加果实的商业价值和市场竞争力（金会翠等 2007, 赵佐平等 2009）。

钾对果树的抗逆性也有一定的影响。适量施钾可以增强果树的耐旱、耐寒和抗病能力，提高果树的适应性，从而减少因环境变化而导致的果实品质和产量的损失（Yasin et al 2018, Schmid et al 2018）。

1.2.4 氮磷钾配施相关研究

氮磷钾配比施肥是指根据果树不同生长阶段和品种的需求，合理配置氮、磷、钾肥料的种类和用量，以达到最佳的果实产量和品质。氮磷钾的配比对植物生长影响巨大（赵营等 2006, 车升国 2015）。若氮、磷、钾中任何一种元素的含量不足，都会导致植物发育不良，生长缓慢；而若其中某一种元素的含量过量，也会对植物产生负面影响。因此，合理的氮磷钾配比，可以促进植物生

长、提高产量、改善品质等（陈敏等 2014）。

不同品种和生长期的果树对氮磷钾的需求量不同，例如果实生长期需要较高的钾肥，花芽分化期需要较高的磷肥，因此需要根据不同生长期的需求量进行合理配置。应根据土壤肥力状况、果树品种和生长期等因素确定适宜的施肥量。应根据果树生长特点和肥料性质，采用分批施肥的方式（樊小林等 2005，吴莉英等 2007，张昊等 2019）。

不同作物对氮磷钾的需求不同。例如，玉米、小麦、水稻等谷类作物对氮的需求较大，通常需要以氮肥为主（李赢等 2022，魏启文等 2023，张艳慧等 2023）。有研究表明，当尿素为 410 kg/hm^2 、磷酸二铵为 209 kg/hm^2 、钾肥为 180 kg/hm^2 时，可以提高玉米的产量。豆类作物包括大豆、绿豆、花生等，油料作物包括芝麻、油菜等对磷的需求较大，因此需要适量施用磷肥（蒋龙刚等 2023）。当氮磷钾配比为 1:2.1:1.8 时，对大豆的产量促进效果最好（宋英博 2010）。当氮磷钾配比为 1:0.5:0.5 时，油菜的籽粒产量最高（杨勇等 2012）。蔬菜作物对氮磷钾的需求相对较平均。不同的蔬菜品种对氮磷钾的需求也不同，例如叶菜类蔬菜对氮的需求较大，瓜果类蔬菜则对磷的需求较大。而钾则是所有作物都需要的营养元素，其缺乏会影响植物生长和发育。合适的氮磷钾配比可以促进植物的生长和发育，提高作物的产量和品质。但是，若氮磷钾配比不当不仅会对作物的产量和品质造成影响，还会对环境造成一定的破坏（Oloyede et al 2013）。

1.2.5 桃树生长及主要养分吸收特征

桃树是一种耐旱、耐寒和耐贫瘠的果树。它在温带和亚热带地区长势良好，但也需要一些特殊的生长条件。桃树喜光，适宜生长在阳光充足的地方。喜欢疏松、肥沃、透气性好的土壤。桃树根系的生长主要以水平分布为主，主根并不明显（高晓兰等 2022）。

桃树的生长过程需要不断的修剪和管理。定期修剪可以帮助桃树维持良好的形态和健康状态，防止过度生长和拥挤（李建宝等 2022）。定期施肥也非常重要，可以帮助桃树保持充足的营养，增加产量和果实品质。

桃树对氮素的需求量较大，氮素是构成叶绿素和氨基酸等重要物质的原料，有助于增加植株的生长速度和叶面积，提高果实的产量和品质（彭福田等

2003)。桃树对磷的需求较大,磷是构成 DNA、RNA 等核酸的重要组成部分,也是 ATP、ADP 等能量物质的重要组成部分,对桃树的根系生长和果实发育有重要影响(袁继存等 2019)。桃树对钾的需求也较大,钾是植物生长发育和代谢过程中必需的元素之一,可以增加植物的抗逆性和抗病性,提高果实的品质和口感(Ahmad et al 2018)。此外,桃树还需要吸收一些微量元素如铁、锌、锰等,这些微量元素对促进植物的生长和发育也是十分重要的。

1.3 研究目的及意义

桃树较耐瘠薄,关于桃树的施肥研究大部分还停留在施肥方式和施肥规律等层面,在桃树幼苗期存在着盲目施肥和施肥不足的现象,不仅不利于桃树的生长,还会破坏生态环境。氮、磷、钾是桃树幼苗生长和发育中必不可少的营养元素,其不同的施肥配比会对桃幼苗的生长产生不同的影响,但是目前关于桃幼苗期的施肥研究还比较薄弱。本试验在盆栽基质栽培条件下添加不同配比的氮磷钾肥,通过观测桃苗形态和生理生化指标,探究不同氮磷钾施肥配比对桃苗生长发育和生理生化指标的影响,筛选出最适合桃幼苗生长的施肥方式,为桃树幼苗期的合理施肥提供一定的指导意义。

2 材料与方法

2.1 试验材料

2.1.1 植物材料

选取毛桃 (*Prunus persica* Batsch) 当年生种子为试验材料。

2.1.2 供试肥料

所用氮肥为尿素 (含氮量为 46%), 磷肥和钾肥分别用磷酸二氢钾 (纯度 98%) 和硫酸钾 (含钾量为 60%)。

2.1.3 仪器及药品

卷尺、游标卡尺 (MASTER, 中国)、数码相机 (佳能, 日本)、育苗盆、移液枪 (Eppendorf, 德国)、电子天平 (ADAM, 中国)、烘箱 (AISITEL, 中国)、根系扫描仪 (Epson Expression 10000XL, 日本)、漩涡混匀器 (MX-S, 中国)、离心机 (Eppendorf, 德国)、摇床 (THZ-C-1, 中国)、酶标仪 (Victor Nivo, 芬兰)、SPAD 仪 (SPAD-502, 日本)、-80 °C 冰箱 (Thermo, 美国)、丙酮、MDA 含量测定试剂盒 (A003-3-1, 南京建成)、H₂O₂ 含量测定试剂盒 (G0112W, 苏州格锐思)、超氧阴离子含量测定试剂盒 (G0116W, 苏州格锐思)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性测定试剂盒 (G0101W, 苏州格锐思)、过氧化物酶 (POD) 活性测定试剂盒 (BC0095, 北京索莱宝)、总抗氧化能力 (T-AOC) 试剂盒 (G0142W, 苏州格锐思)。

2.2 试验方法

2.2.1 桃苗的施肥处理

选取桃当年生种子, 用蒸馏水洗净, 去除霉烂的种子和杂物, 再用 2% 次氯

酸钠浸泡消毒 30 min，最后用无菌水冲洗至水无色。参照何昊（2019）的方法，将种子和灭菌处理的湿沙按照 1: 5 的比例充分混匀，放置在保鲜盒中，4 °C 低温冷藏进行 3 个月层积处理。层积期间保持一定湿度，发现霉变的种子及时挑出处理。待种子露白后，将种子播种在湿润的蛭石穴盘中，并放置在 26 °C 的恒温生长室中，适时浇水。生长 15 d 之后，挑选长势一致的桃苗移栽到育苗盆中，缓苗一周后进行施肥试验处理。

试验设置 4 个处理：N:P(P₂O₅):K(K₂O)分别为：1: 1: 1；2: 1: 1；2: 1: 2；2: 2: 1: 3。分别用 T1、T2、T3、T4 表示。每个处理保证有效氮、有效磷和有效钾的总量不变。每个处理有 3 次重复，每次重复 6 盆。预设有效氮磷钾的总量分别为 150 mg、300 mg、450 mg。从中进行筛选，发现当有效氮磷钾的总量为 300 mg 和 450 mg 时，桃幼苗经过一段时间后均发生不同程度的烧苗现象（如附图 1 所示）。因此最终确定有效氮磷钾的总量为 150 mg（具体试验设计与肥料用量见表 1）。

将所需肥料放入玻璃烧杯中，待搅拌充分稀释后，每株缓缓浇入 100 mL，尽量保证整个施肥过程中没有肥料损耗，使肥料被幼苗很好的吸收利用。采用浇灌的方式每 20 d 进行一次施肥，每 2~3 d 浇水，施肥 3 次，整个试验处理持续 2 个月。

表 1 试验设计与肥料用量

Table 1 Experimental design and fertilizer amounts

处理	N 含量 g/株 (尿素)	P ₂ O ₅ 含量 g/株 (KH ₂ PO ₄)	K ₂ O 含量 g/株 (K ₂ SO ₄)	肥料总量 g/株
T1	0.050 (0.109)	0.050 (0.096)	0.050 (0.032)	0.237
T2	0.075 (0.163)	0.038 (0.072)	0.038 (0.024)	0.259
T3	0.060 (0.131)	0.030 (0.058)	0.060 (0.074)	0.263
T4	0.050 (0.109)	0.025 (0.048)	0.075 (0.111)	0.268

注：T1-T4：代表 4 种不同的氮磷钾配比施肥处理，氮磷钾的比值分别为 1: 1: 1、2: 1: 1、2: 1: 2、2: 1: 3。

Note: T1-T4 represents four different nitrogen, phosphorus and potassium fertilization treatments, with nitrogen, phosphorus and potassium ratios of 1:1:1, 2:1:1, 2:1:2, and 2:1:3, respectively.

2.2.2 桃苗生物量的测定

株高、茎粗测定：施肥处理结束后，每个处理挑选 6 棵桃苗，3 次生物学重复，每个处理共计 18 棵。每间隔 20 天，分别用直尺、数显游标卡尺测量净增长量。

叶片数和叶片厚度：施肥处理结束后，数出桃苗全株完全展开的成熟叶片；施肥处理结束后，每个处理挑选 3 株桃苗，每一株在桃苗顶端 3-7 片叶中挑选 3 片叶片用数显游标卡尺进行测量，每个处理进行 3 次生物学重复。

叶表面积测定：施肥处理结束后，用根系扫描仪扫描桃苗顶端完全展开的 5 片叶，得到叶表面积并计算出平均叶表面积。

地上/下部鲜重测定：施肥处理结束后，每个处理挑选 3 棵桃苗，3 次生物学重复，共计 9 棵。从桃苗根颈部剪开，分为地上部和地下部。蒸馏水洗净后用吸水纸吸干水分，天平称量鲜重。

地上/下部干重测定：施肥处理结束后，每个处理挑选 3 棵桃苗，3 次生物学重复，共计 9 棵。将称完鲜重的桃苗的地上部和地下部分别装入牛皮纸信封袋中，75 °C 烘干至恒重后用分析天平称重干重。

2.2.3 桃苗根系形态的测定

选取处理过的桃苗，用镊子将桃苗根系完全展开，防止根系之间相互重叠。然后放入盛有一定水的托盘中，用根系扫描仪进行根系分布图像的扫描，并利用 WinRHIZO 2009 图像分析软件对桃苗的总根长、根平均直径、总根表面积、根体积、侧根数、根尖数这些根系参数进行测定分析。

2.2.4 桃苗叶绿素含量和叶绿素荧光特征的测定

叶绿素含量的测定：采用 80% 丙酮法（Bernal-Vicente et al 2018）测定处理结束后桃苗叶片的叶绿素含量，每个处理挑选 6 棵长势一致的桃苗，选取桃苗顶端 3-7 片完全展开的叶片，在避光条件下，取叶片混样 0.1 g，避开叶脉剪碎。放入研钵，置于冰上，加入少量 80% 丙酮研磨成匀浆，用移液枪将匀浆转移至离心管中，用丙醇洗涤研钵，最后定溶至 10 mL，4 °C 下 4000 r/min 离心 5 min

后取上清液，1: 5 进行稀释，用酶标仪分别测定波长在 470 nm、663 nm、645 nm 和 652 nm 下的吸光值，以 80%丙酮为对照调零，根据公式计算叶绿素 a (Chl a)、b (Chl b) 及总叶绿素 (Chl t) 含量。每个处理进行 3 次生物学重复。

$$\text{Chl a (mg/g)} = (12.21 \times A_{663} - 2.81 \times A_{645}) \times V \times \text{稀释倍数} \div \text{样品质量} \div 1000$$

$$\text{Chl b (mg/g)} = (20.13 \times A_{645} - 5.03 \times A_{663}) \times V \times \text{稀释倍数} \div \text{样品质量} \div 1000$$

$$\text{Chl t (mg/g)} = (1000 \times A_{652} \div 34.5) \times V \times \text{稀释倍数} \div \text{样品质量} \div 1000$$

式中：V：提取液体积为 10 mL，稀释倍数：5，样品质量：0.1 g

叶片 SPAD 值的测定：施肥处理结束后，挑选桃苗顶端完全展开的 3-7 片叶，每片叶片避开叶脉挑选 3 个点，使用 SPAD-502 便携式叶绿素测定仪测定。每个处理挑选 6 棵桃苗，每个处理进行 3 次生物学重复。

叶绿素荧光特征的测定：叶绿素荧光动力学是以植株叶片内叶绿素为材料的一种方便快捷且不会损伤植物的测定逆境对光合作用影响的理想方法（张守仁 1999）。采用 PAM/L 叶绿素荧光成像系统测定。每个处理挑选 5 株桃苗，于处理结束后下午 16: 00-18: 00 进行测定。首先将待测桃苗暗适应 20-30 min，然后打开测量光（一般小于 1 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ），记录暗适应后的最小荧光 F_0 ，紧接着打开一个持续时间仅有 0.2-1.5s 的饱和脉冲，测量暗适应后的最大荧光 F_m 。根据 F_0 和 F_m 计算出光系统II的最大光合效率（Kitajima and Butler 1975）。每个处理进行 3 次生物学重复。

$$F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$$

2.2.5 可溶性糖含量的测定

先称取叶片试样 0.1 g，加入 15 mL 蒸馏水，在沸水浴中煮沸 20 min。然后取出冷却，过滤入 25 mL 容量瓶中，残渣用蒸馏水漂洗数次，定容至刻度。再取待测样品提取液 1 mL，加入蒽酮试剂 5 mL，迅速振摇混匀，置沸水中煮沸 10 min。冷却后取上清液，用酶标仪在 620 nm 波长处测定吸光度。具体操作参照王学奎（2006）。每个处理进行 3 次生物学重复。

2.2.6 脯氨酸含量的测定

首先，称取 0.1 g 样品，并将其放入一个大试管中。向试管中加入 5 mL 3%

磺基水杨酸溶液，在沸水浴中提取 10 min（提取过程中经常摇晃）。冷却后，将其过滤到干净的试管中，滤液为脯氨酸提取物。然后用移液管将 2 mL 提取液移到另一个带玻璃塞的干净试管中，加入 2 mL 冰醋酸和 2 mL 酸性三酮试剂，在沸水浴中加热 30 min 使溶液变红。冷却后，加入 4 mL 甲苯，振荡 30 s，将上层液体放入 10 mL 离心管中，以 3000 r/min 离心 5 min。最后，用移液管轻轻吸取上层脯氨酸红甲苯溶液，使用酶标记物测量 520 nm 处的吸光度值，并使用甲苯作为空白对照。

2.2.7 丙二醛、过氧化氢、超氧阴离子含量的测定

称取 0.1 g 样品，加入 1 mL 80%乙醇进行冰浴研磨，随后将匀浆转移至离心管中，4°C，12000 r/min 离心 10 min，吸取上清液进行测定，测定步骤详见各试剂盒说明书。每个处理进行 3 次生物学重复。

2.2.8 SOD、POD 活性、总抗氧化能力的测定

称取 0.1 g 样品，加入 1 mL 80%乙醇进行冰浴研磨，随后将匀浆转移至离心管中，4°C，12000 r/min 离心 10 min，吸取上清液进行测定，测定步骤详见各试剂盒说明书。每个处理进行 3 次生物学重复。

2.3 数据分析

试验数据均采用 Microsoft Excel 2019 软件进行平均值和标准误的计算，使用 SPSS 26 软件单因素方差分析（ANOVA）进行差异显著性检验，Student's *t*-test 检验两组数据的显著性差异，Duncan 法进行多重比较分析（ $P < 0.05$ ）。

3 结果与分析

3.1 不同氮磷钾配比施肥对桃苗生长的影响

3.1.1 不同氮磷钾配比施肥对桃苗株高和茎粗的影响

不同氮磷钾配比施肥处理对桃苗生长的影响不同。从图 2 可以看出：施肥处理 60 d 之后，氮磷钾配比为 1: 1: 1 (T1) 和 2: 1: 1 (T2) 时，桃苗的株高明显高于 2: 1: 2 (T3) 和 2: 1: 3 (T4) 施肥处理。在有效氮磷钾总量不变的条件下，随着钾含量的相对增加，氮含量随之减少，桃苗生长较为缓慢。推测在一定的浓度范围内，氮元素促进桃幼苗的生长。



图 1 不同氮磷钾配比施肥处理 60 d 桃苗的生长状况

注：从左往右 4 株桃苗的处理的氮磷钾的比值分别为 1: 1: 1、2: 1: 1、2: 1: 2、2: 1: 3。

Fig. 1 Growth status of peach seedlings treated with different ratios of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization for 60 days

Note: The ratios of nitrogen, phosphorus, and potassium for the treatment of four peach seedlings from left to right are 1:1:1, 2:1:1, 2:1:2, and 2:1:3, respectively.

对 4 种不同施肥处理下桃苗的株高增长量进行具体分析。由图 2 可知：施肥处理后不同时间（20 d、40 d 和 60 d），氮磷钾配比为 1:1:1 (T1) 的桃苗株高增长量均为最大，2:1:1 (T2) 次之，两者间无显著性差异；T4 (N:P:K=2:1:3) 处理的株高增长量均为最小，20 d 时显著低于 T1 和 T2 处理，40 d 和 60 d 时显著低于 T1 处理，但与 T3 处理间差异一直不显著。60 d 时，氮磷钾配比为 1:1:1 (T1) 比 T3 和 T4 处理显著增加 33.7% 和 38.1%。

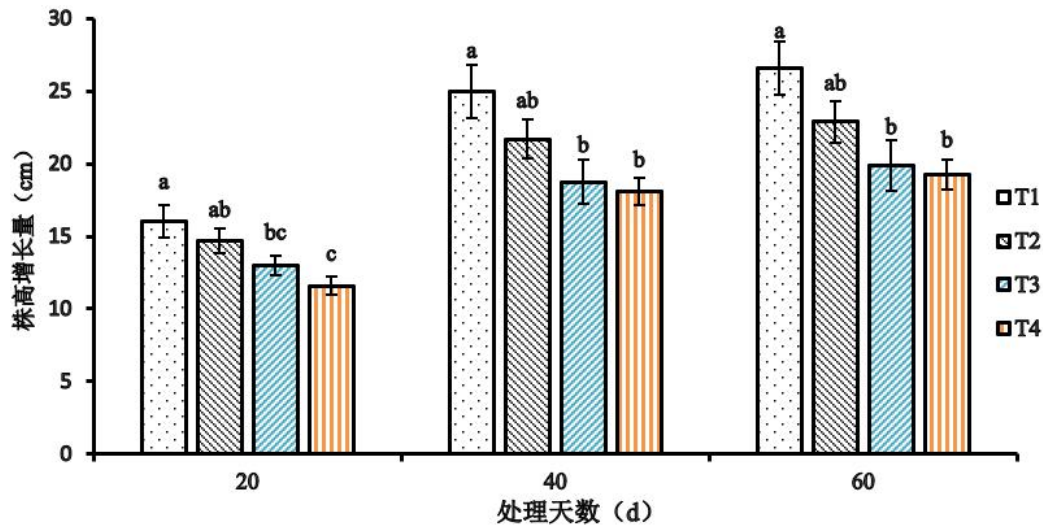


图 2 不同氮磷钾配比施肥处理的桃苗株高增长量

注: T1-T4: 代表 4 种不同的氮磷钾配比施肥处理, 氮磷钾的比值分别为 1: 1: 1、2: 1: 1、2: 1: 2、2: 1: 3。不同小写字母表示不同施肥处理经过 Duncan 检验具有显著性差异 ($P < 0.05$)

Fig. 2 Height increase of peach seedlings treated with different ratios of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization

Note: T1-T4: represent 4 different nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilization treatments, the ratios of nitrogen, phosphorus and potassium are 1:1:1, 2:1:1, 2:1:2, 2:1:3, respectively. Different lowercase letters indicate that different fertilization treatments have significant differences after Duncan test ($P < 0.05$)

不同氮磷钾配比施肥对桃苗茎粗增长量的影响如图 3 所示。施肥处理 20 d 和 40 d 之后, 4 种不同处理之间无显著性的差异。处理 60 d 之后, 氮磷钾配比为 2: 1: 1 (T2) 的茎粗增长量最大, 显著高于 T3 (N:P:K=2: 1: 2) 和 T4 (N:P:K=2: 1: 3) 处理 17.2%和 22.9%; 1: 1: 1 (T1) 处理的茎粗增长量次之, 与 T1 和 T3 处理间差异不显著, 但显著高于 T4 (N:P:K=2: 1: 3) 处理 18.2%。

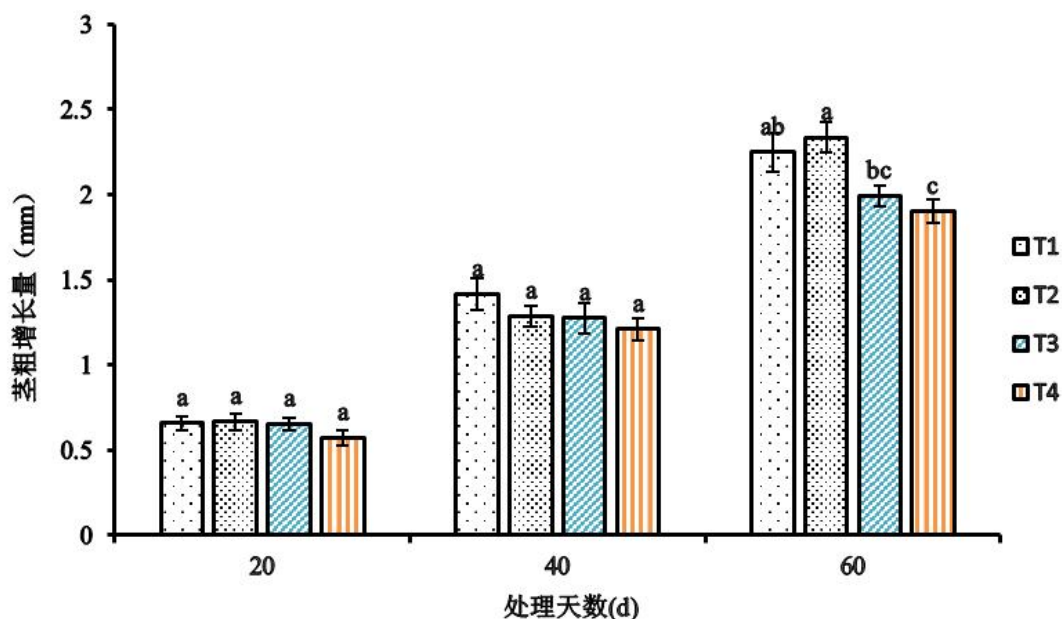


图 3 不同氮磷钾配比施肥处理的桃苗茎粗增长量

注：T1-T4：代表 4 种不同的氮磷钾配比施肥处理，氮磷钾的比值分别为 1：1：1、2：1：1、2：1：2、2：1：3。不同小写字母表示不同施肥处理经过 Duncan 检验具有显著性差异 ($P < 0.05$)

Fig. 3 Stem diameter increase of peach seedlings treated with different ratios of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization

Note: T1-T4: represent 4 different nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilization treatments, the ratios of nitrogen, phosphorus and potassium are 1:1:1, 2:1:1, 2:1:2, 2:1:3, respectively. Different lowercase letters indicate that different fertilization treatments have significant differences based on Duncan test ($P < 0.05$)

3.1.2 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶片数和叶片厚度影响

不同氮磷钾配比施肥处理对桃苗叶片数的影响不同。施肥处理 60 d 后，氮磷钾配比为 2：1：1 (T2) 的桃苗叶片数最多，比叶片数最少的 T4 (N:P:K=2:1:3) 处理显著增加 39.1%；其次是 T1 (N:P:K=1:1:1) 处理，与 T2 和 T3 (N:P:K=2:1:2) 处理间没有显著性差异，显著高于 T4 处理 32.1%；T3 处理的叶片数略多于 T4 处理，但两者间差异不显著 (图 4A)。

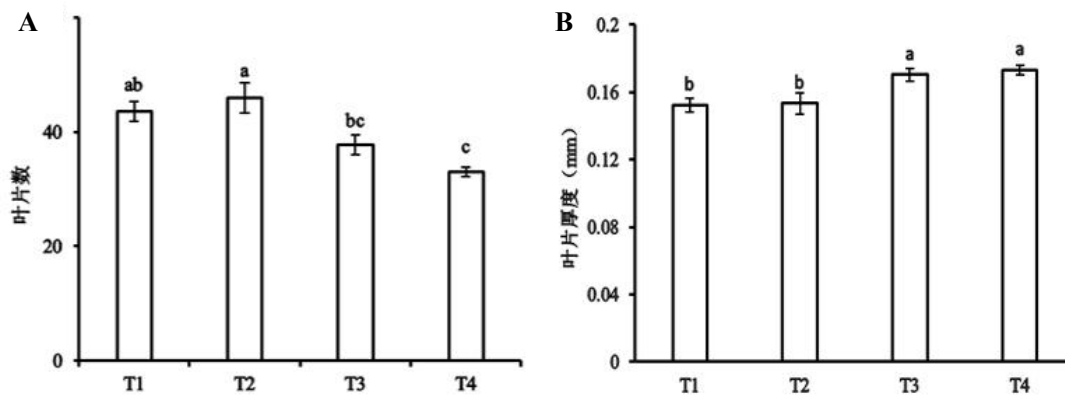


图 4 不同氮磷钾配比施肥处理的桃苗叶片数 (A) 和叶片厚度 (B)

注: T1-T4: 代表 4 种不同的氮磷钾配比施肥处理, 氮磷钾的比值分别为 1: 1: 1、2: 1: 1、2: 1: 2、2: 1: 3。不同小写字母表示不同施肥处理经过 Duncan 检验具有显著性差异 ($P < 0.05$)

Fig. 4 The number of leaves (A) and leaf thickness (B) of peach seedlings treated with different ratios of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization

Note: T1-T4: represent 4 different nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilization treatments, the ratios of nitrogen, phosphorus and potassium are 1:1:1, 2:1:1, 2:1:2, 2:1:3, respectively. Different lowercase letters indicate that different fertilization treatments have significant differences after Duncan test ($P < 0.05$)

不同氮磷钾配比施肥下桃苗的叶片厚度也有所不同。氮磷钾配比为 2: 1: 3 (T4) 处理下的桃苗叶片厚度最大, T3 (N:P:K=2: 1: 2) 处理次之, 两者间并无显著性的差异; 但均显著厚于 T1 (N:P:K=1: 1: 1) 和 T2 (N:P:K=2: 1: 1) 处理。其中, 与叶片厚度最小的 T1 处理相比, T4 处理的叶片厚度显著增加 13.8% (图 4B)。

3.1.3 不同氮磷钾配比施肥对桃苗叶表面积的影响

从图 5 可以看出, 不同氮磷钾配比施肥处理对桃苗叶表面积的影响与叶片厚度相似。氮磷钾配比为 2: 1: 3 (T4) 处理下桃苗的叶表面积最大, T3 (N:P:K=2: 1: 2) 处理次之, 两者间并无显著性的差异, 均显著高于 T1 (N:P:K=1: 1: 1) 和 T2 (N:P:K=2: 1: 1) 处理, T1 和 T2 处理之间差异不显著性。其中, T4 处理的叶表面积相比于 T1 和 T2 处理显著增加 30.4%和 24.3%。

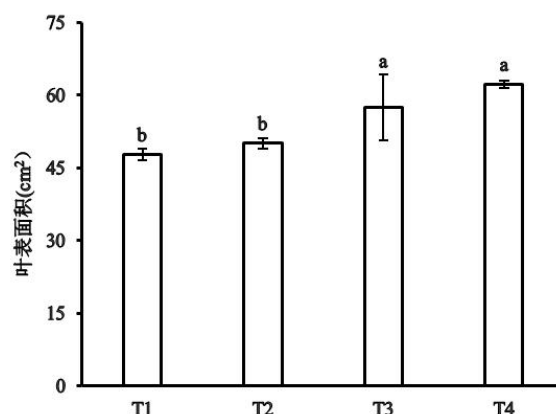


图 5 不同氮磷钾配比施肥处理的桃苗叶表面积

注：T1-T4：代表 4 种不同的氮磷钾配比施肥处理，氮磷钾的比值分别为 1：1：1、2：1：1、2：1：2、2：1：3。不同小写字母表示不同施肥处理经过 Duncan 检验具有显著性差异（ $P < 0.05$ ）

Fig. 5 Leaf surface area of peach seedlings treated with different ratios of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization

Note: T1-T4: represent 4 different nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilization treatments, the ratios of nitrogen, phosphorus and potassium are 1:1:1, 2:1:1, 2:1:2, 2:1:3, respectively. Different lowercase letters indicate that different fertilization treatments have significant differences after Duncan test ($P < 0.05$)

3.1.4 不同氮磷钾配比施肥对桃苗地上部和地下部生物量的影响

如图 6 所示，不同的氮磷钾配比施肥对桃苗地上部和地下部的鲜重和干重会造成不同的影响。氮磷钾配比为 1：1：1（T1）施肥处理下桃苗的地上部鲜重最大，分别显著高于 T3 和 T4 处理 36.5%和 51.6%；氮磷钾配比为 2：1：1（T2）处理的地上部鲜重与 T1 处理间差异不显著，但是显著高于 T3（N：P：K=2：1：2）和 T4（N：P：K=2：1：3）处理 30.2%和 44.8%（图 6A）。T2 处理的地下部鲜重显著高于其他 3 种处理，分别比 T1、T3 和 T4 处理显著增加 34.9%、53.3%和 49.8%，其他 3 种不同处理间没有显著差异（图 6B）。T1 处理的地上部干重最大，与 T2 处理没有显著性差异，但比 T3 和 T4 处理显著增加 38.3%和 25.5%（图 6C）。T2 处理的地下部干重最大，不过 4 种不同处理间无显著性差异（图 6D）。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/758057045113006036>