植物营养与肥料学报 2014,20(4):957-964
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0418

树盘施肥区域大小对^{15}N吸收利用及桃幼树生长的影响

肖元松,彭福田*,房龙,颜克发,张华美,齐玉吉,李勇
(山东农业大学园艺科学与工程学院,作物生物学国家重点实验室,山东泰安 271018)

摘要:【目的】探讨树盘施肥区域大小对氮素吸收与分配的影响以及适合桃园的施肥模式,以期为桃树栽培生产提供有益的参考。**【方法】**在大田栽培条件下,以2年生"春雪"桃为试材,以主干为中心,在水平方向把树盘均匀分为东西南北4个区,设置1/4、2/4、3/4、4/4根区施肥以及固定根区施肥和根区交替施肥,以不施肥处理为对照,共7个处理。生长季定期测定桃树干茎,试验结束时,破坏性整株取样,解析为各施肥区与非施肥区对应的地上部和地下部,地上部解析为对应根区的枝、叶和干;地下部解析为对应根区的粗根(直径>0.2 cm)和细根(直径≤0.2 cm),烘干后测定各部分干重。应用^{15}N同位素示踪技术,研究树盘施肥区域大小对^{15}N吸收利用及桃幼树生长的影响。**【结果】**4/4根区(全树盘)施肥氮肥吸收利用率为4.16%,分别为1/4、2/4、3/4根区施肥的3.62倍、1.65倍和1.24倍;固定根区施肥氮肥吸收利用率是根区交替施肥的1.24倍。局部施肥处理,施肥区根系的Ndff值高于非施肥区根系的Ndff,差异显著;施肥区根系的^{15}N分配率高于非施肥区根系的^{15}N分配率,差异显著;施肥区对应的地上部新生器官的^{15}N分配率和Ndff值与非施肥区对应的地上部新生器官的^{15}N分配率和Ndff值均无显著差异。施肥区的根系总干重均小于非施肥区根系的总干重。总体以全树盘施肥处理植株生长速率最大,4/4根区(全树盘)施肥植株生长速率为0.57 cm/month,分别为1/4、2/4、3/4根区施肥的1.19倍、1.14倍和1.04倍;根区固定施肥与根区交替施肥处理植株生长速率无显著差异。**【结论】**全树盘施肥氮肥吸收利用率最高,植株生长速率最大,即均匀施肥有利于桃幼树对养分的吸收利用,利于桃幼树形态建成,促进树体生长发育。

关键词:桃;施肥区域;^{15}N;吸收;分配
中图分类号:S662.1.601;S606^{+}.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2014)04-0957-08

Effects of fertilization area size on absorption and utilization of ^{15}N and growth of young peach trees

XIAO Yuan-song, PENG Fu-tian*, FANG Long, YAN Ke-fa, ZHANG Hua-mei, QI Yu-ji, LI Yong
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China*)

Abstract:【Objectives】In this study, the effects of fertilization area size on absorption and utilization of nitrogen and suitable fertilization pattern in peach orchard were evaluated to provide the beneficial reference for peach cultivation production. **【Methods】**Two-year-old peach trees, Spring Snow, and ^{15}N isotope tracer technique were used to investigate the effects of fertilization area changes on the absorption and the utilization of ^{15}N and growth of young peach trees. The tree plate was evenly divided into four areas in the horizontal direction using the tree backbone as a center. Seven treatments was designed, including 1/4, 2/4, 3/4 and 4/4 root zone fertilization, fixed root-zone fertilization, root-zone alternative fertilization and the no fertilizer treatment. Peach tree stem was regularly measured during growing season, and the plant was collected and subdivided into abover-ground and under-ground parts corresponding to fertilization area and non-fertilization area at the end of the test. Above-ground part is subdivided into shoot, leaf and stem corresponding to different root area, and under-ground part is

收稿日期:2013-08-18 **接受日期:**2013-10-19
基金项目:国家现代农业产业技术体系项目(CARS-31-3-03);山东省高校优秀科研创新团队计划项目。
作者简介:肖元松(1986—),男,山东德州人,博士研究生,主要从事果树矿质营养研究。
Tel:0538-8245986,E-mail:yuansongx2013@163.com。 * 通信作者 Tel:0538-8245986,E-mail:pft@sdau.edu.cn

subdivided into coarse roots (≥0.2 cm diameter), fine roots (<0.2 cm diameter), and dry matter biomass of different organ is weighed. 【**Results**】The result showed that the nitrogen utilization rate in the 4/4 root zone (full tree plate) is 4.16%, which is respectively 3.62, 1.65 and 1.24 times of those in the 1/4, 2/4 and 3/4 root zones. The nitrogen utilization rate in the fixed root-zone fertilization is 1.24 times of that in the root-zone alternative fertilization. After the local fertilization treatment, Ndff value in the root system and ^{15}N distribution rate in fertilization area are significantly higher than those in the non-fertilization area. There are no significant differences between the ^{15}N distribution rate and Ndff value in above-ground part from new born organ in the fertilization area and the non-fertilization area. The total root try matter in fertilization area is less than that in the non-fertilization area. Generally, the plants growing in the full tree plate fertilization have the maximum growth rate, the plants growing in the fixed root-zone fertilization and the root-zone alternative fertilization are similar in the growth rates. The plant growth rate in the 4/4 root zone (full tree plate) is 0.57 cm/month, which is respectively 1.19, 1.14 and 1.04 times of those in the 1/4, 2/4 and 3/4 root zones. 【**Conclusions**】Nitrogen utilization rate and plant growth rate in the full tree plate fertilization are the highest, i.e. the uniform fertilizer treatment is recommonded for nutrient utilization and morphogenesis of young peach trees.

Key words: peach; fertilization area; ^{15}N; absorption; distribution

合理施用化肥是保证果树产量与品质的重要措施。目前我国桃生产中,由于化肥施用的盲目性及果农施肥决策不合理,导致化肥利用率低[1],不仅浪费了资源,而且造成了对环境的污染[2-4]。受施肥方式和根系在土壤中非均匀分布的影响,只有局部土壤营养空间能够满足根系对养分的需求。有研究指出,局部供应磷素可以促进小麦幼苗生长及同化物向根系的运输[5];局部供应氮、锌元素有利于根系向养分富集区生长[6]。研究表明,养分局部供应区域根系的吸收能力明显增大,可以补偿根区养分非均匀供应造成的影响,这种局部供氮使根系生长提高是对缺氮部分的生长补偿[7-8]。秦岭等[9]在葡萄上的研究认为,盆栽葡萄根系局部改良可有效促进葡萄地上部和根系的平衡生长。目前有关养分局部供应的研究多集中在模式植物上,且多在实验室盆栽条件下进行,而在大田条件下,有关局部施肥对养分吸收利用和分配的研究报道较少。本研究利用^{15}N同位素示踪技术,通过大田条件下根系分区施肥和限制性局部分区交替施肥技术,对桃幼树交替施肥下的^{15}N吸收利用进行研究,探讨树盘施肥区域大小变化的氮素吸收与分配特点以及适合桃园的优化施肥模式,以期为桃园施肥管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2011年3月至2011年11月在山东省泰安市泰山区省庄镇红庙村中华寿桃园进行。试验用普通砖块砌成长125 cm,高35 cm的十字形,以主干为中心,在水平方向把树盘均匀分为东西南北4个区,在十字形中心东北方、东南方、西南方和西北方四个方向上留有相同大小的空隙,保证根系能够均匀地生长到各个根区。用塑料薄膜覆盖在十字形砖墙上,以防止养分透过砖墙。将桃幼苗定植于十字形中间,根系可穿过十字形中间大小相同的空隙生长到4个根区。保持施肥量不变,选择其中1~4个区进行施氮肥处理。供试桃品种为"春雪",两年生,株行距2 m×5 m。供试土壤类型为棕壤,土壤质地为粘土。土壤基本养分含量为:有机质11.30 g/kg,速效磷64.73 mg/kg,速效钾62.29 mg/kg,铵态氮4.42 mg/kg,硝态氮32.05 mg/kg,pH 7.12。

试验采取完全随机设计,试验分为不同根区施肥和2/4根区交替施肥试验。不同根区施肥试验分为:1/4根区施肥;2/4根区施肥;3/4根区施肥;4/4根区施肥4个处理,不施肥为对照,每处理8次重复。施肥分两次进行,时间为5月4日,7月10日。每次各处理施入等量的普通尿素21.6 g,^{15}N-尿素(上海化工研究院生产,丰度10.22%)2.5 g,硫酸钾23.14 g,磷酸二氢铵10.18 g。各处理的施肥方法为:1/4根区施肥,将肥料溶于1 L水中,然后浇在相应的1/4根区,其它3个根区浇入等量水;2/4根区施肥,将肥料平均分为2份,分别溶于1L水中,然后分别浇在相应的2/4根区,其它2个根区浇入等量水;3/4根区施肥,将肥料平均分为3份,分别溶于1L水中,然后分别浇在相应的3/4根区,另外1个根区浇入等量水;4/4根区施肥,将肥料平

均分为 4 份,分别溶于 1L 水中,然后分别浇在 4 个根区。两次施肥均施于相同根区。

2/4 根区交替施肥试验分为 2/4 固定根区施肥和 2/4 根区交替施肥 2 个处理,以不施肥为对照,每个处理 8 次重复。于 5 月 4 日,7 月 10 日分两次施肥。2/4 固定根区施肥处理为始终给 2/4 根区施肥,另 2/4 根区不施肥; 2/4 根区交替施肥处理是第一次施肥施在 2/4 根区,另 2/4 根区不施肥,第二次施肥在另一个 2/4 根区,第一次施肥的 2/4 根区不施肥。每次各处理施入等量的普通尿素 21.6 g,^{15}N -尿素(上海化工研究院生产,丰度 10.22%)2.5 g,硫酸钾 23.14 g,磷酸二氢铵 10.18 g。施肥方法为: 2/4 固定根区施肥是将肥料溶于 2 L 水中,均匀浇在固定的 2/4 根区,两次施肥施在相同根区,另 2/4 根区浇 2 L 水; 2/4 根区交替施肥是将肥料溶于 2 L 水中,第一次施肥施在先施肥的 2/4 根区(先施肥区),另 2/4 根区浇 2 L 水,第二次施肥施入上次未施肥的 2/4 根区,另 2/4 根区浇 2 L 水。每次施肥完成后随即对各处理浇足量的水。各处理田间管理均同常规。

1.2　测定项目与方法

分别于 5 月 14 日、6 月 14 日、7 月 16 日、8 月 16 日和 9 月 17 日测定各处理干茎。试验结束时,破坏性整株取样,整株解析为各施肥区与非施肥区对应的地上部和地下部,地上部解析为对应根区的枝、叶和干; 地下部解析为对应根区的粗根(直径 >0.2 cm)和细根(直径≤0.2 cm),称量各部分鲜重。其中 1/4 根区施肥,2/4 根区施肥,3/4 根区施肥,4/4 根区施肥处理取样时地上部和地下部均按东南西北四个方向平均分为四部分进行取样; 2/4 固定根区施肥和 2/4 根区交替施肥处理取样时地上部和地下部按施肥边和非施肥边及先施肥边和后施肥边,分为两部分进行取样; 并对各部分进行数据分析。样品按清水→洗涤剂→清水→3 次去离子水顺序冲洗后,立即在 105℃下杀青 30 min,随后在 80℃下烘至恒重,并称量各部分干重。之后在 80 ℃下烘至恒重,用不锈钢电磨粉碎后过 0.25 mm 筛,样品混合装袋备用。

干茎使用游标卡尺测定; 植株全氮用 Foss 半自动式定氮仪(凯氏定 N 法)测定。^{15}N 丰度值的测定方法为: 吸浓硫酸 4 mL 溶解样品,催化剂为 K_2SO_4: Se 为 500∶1 的混合物,消化 8 h 后用 0.02 mol/L 的稀硫酸吸收后上机操作。MAT -251 质谱仪测定^{15}N 丰度,样品在中国农业科学院农产品加工所测试。

1.3　计算公式

器官全氮量(g) = 器官总干重(g) × 全氮(%)

Ndff = 植物样品中^{15}N 原子百分超(%)/肥料中^{15}N 原子百分超(%) ×100

原子百分超 = 样品中^{15}N 丰度(%) - 自然丰度(%)

氮肥利用率 = Ndff(%) × 器官全氮量(g)/施肥量(g) ×100

氮肥分配率 = 各器官从氮肥中吸收的氮量(g)/总吸收氮量(g) ×100

从氮肥中吸收的氮量 = 器官全氮量(g) × 样品^{15}N 原子百分超(%)/肥料^{15}N 原子百分超(%)

1.4　数据处理

应用 Microsoft Excel 2003 软件绘图、制表,DPS 7.05 软件进行统计分析,进行单因素方差分析和差异性分析。

2　结果与分析

2.1　不同根区施肥桃幼树各器官的 Ndff

器官的 Ndff 是指植株器官从^{15}N 肥料中吸收分配到的^{15}N 量对该器官全氮量的贡献率,它反映了植株器官对肥料^{15}N 的吸收征调能力[10]。四种不同根区施肥处理下,桃幼树各器官 Ndff 存在一定差异。由表 1 看出,施肥区根系的 Ndff 高于非施肥区根系的 Ndff,差异显著。施肥区根系的 Ndff,随施肥根区的增多而减少,非施肥区根系的 Ndff,随施肥根区的增多而增大。新梢和叶的 Ndff,随施肥根区的增多而增大。干的 Ndff 随施肥根区的增多而增大。1/4 根区施肥处理施肥区细根的 Ndff 最大为 4.28%,分别为 2/4 根区施肥、3/4 根区施肥、4/4 根区施肥的 1.39 倍、1.62 倍、1.68 倍。1/4 根区施肥处理施肥区粗根的 Ndff 最大为 3.98%,分别为 2/4 根区施肥、3/4 根区施肥、4/4 根区施肥的 1.22 倍、1.24 倍、1.39 倍。1/4 根区施肥处理非施肥区新梢的 Ndff 是施肥区的 1.42 倍,其它施肥处理施肥区新梢与非施肥区新梢的 Ndff 无显著差异。1/4 根区施肥处理中非施肥区叶的 Ndff 是施肥区的 1.59 倍,其它施肥处理新梢施肥区与非施肥区叶的 Ndff 无显著差异。

2.2　不同根区施肥桃幼树各器官的^{15}N 分配率

各器官中^{15}N 占全株^{15}N 总量的百分率反映了肥料氮在树体内的分布及在各器官迁移的规律[11]。不同根区施肥处理,植株各器官的^{15}N 分配率不同

(表2)。施肥区根系^{15}N分配率随施肥根区的增多(等施肥量施肥区域增大)有降低趋势,施肥区大于非施肥区,细根的^{15}N分配率以1/4根区施肥处理施肥区最大为1.84%,分别为2/4根区施肥、3/4根区施肥、4/4根区施肥的1.01倍、1.53倍、1.77倍;粗根的^{15}N分配率以1/4根区施肥处理施肥区最大为2.75%,分别为2/4根区施肥、3/4根区施肥、4/4根区施肥的1.23倍、1.86倍、1.83倍。各处理新梢的^{15}N分配率无显著差异,施肥区新梢的^{15}N分配率与非施肥区的^{15}N分配率无显著差异。结

表1 不同根区施肥条件下植株各器官的Ndff(%)

Table 1 Ndff of different organs under different root zone fertilization areas

项目 Item		处理 Treatment			
		1/4根区施肥 1/4 root zone	2/4根区施肥 2/4 root zone	3/4根区施肥 3/4 root zone	4/4根区施肥 4/4 root zone
细根 Fine root	施肥区 Fertilization zone	4.28 a	3.09 b	2.64 b	2.55 b
	非施肥区 Non-fertilization zone	0.70 c	1.02 b	1.25 a	
粗根 Thick root	施肥区 Fertilization zone	3.98 a	3.27 b	3.20 b	2.87 c
	非施肥区 Non-fertilization zone	0.85 c	1.35 b	1.51 a	
新梢 New shoot	施肥区 Fertilization zone	0.83 c	1.50 b	2.04 a	2.09 a
	非施肥区 Non-fertilization zone	1.18 b	1.52 b	2.67 a	
叶 Leaf	施肥区 Fertilization zone	0.73 c	1.55 b	1.93 a	1.99 a
	非施肥区 Non-fertilization zone	1.16 b	1.43 b	2.24 a	
干 Trunk		0.93 b	1.22 b	2.08 a	2.16 a

注(Note):统计分析是针对相同施肥区不同施肥处理之间。同一行数字后不同字母表示差异达5%显著水平 Statistical analysis is on behalf of the same fertilization zone of different fertilization treatments. Values followed by different letters in the same row mean significant differences at 5% level.

表2 不同根区施肥条件下植株各器官^{15}N分配率(%)

Table 2 Ratios of ^{15}N-urea partition of different organs under different root zone fertilization areas

项目 Item		处理 Treatment			
		1/4根区施肥 1/4 root zone	2/4根区施肥 2/4 root zone	3/4根区施肥 3/4 root zone	4/4根区施肥 4/4 root zone
细根 Fine root	施肥区 Fertilization zone	1.84 a	1.82 a	1.20 ab	1.04 b
	非施肥区 Non-fertilization zone	0.39 a	0.41 a	0.39 a	
粗根 Thick root	施肥区 Fertilization zone	2.75 a	2.24 ab	1.48 b	1.50 b
	非施肥区 Non-fertilization zone	0.74 b	0.99 ab	1.21 a	
新梢 New shoot	施肥区 Fertilization zone	4.90 a	3.85 a	4.38 a	4.54 a
	非施肥区 Non-fertilization zone	4.68 a	3.45 b	5.10 a	
叶 Leaf	施肥区 Fertilization zone	14.21 b	20.69 a	22.42 a	18.45 ab
	非施肥区 Non-fertilization zone	17.67 b	23.55 a	24.43 a	
干 Trunk		6.48 a	4.67 b	5.93 ab	5.14 ab

注(Note):统计分析是针对相同施肥区不同施肥处理之间。同一行数字后不同字母表示差异达5%显著水平 Statistical analysis is on behalf of the same fertilization zone of different fertilization treatments. Values followed by different letters in the same row mean significant differences at 5% level.

果表明,不同根区施肥处理,氮素优先分配到施肥区根系,然后再向非施肥区根系转移,最终氮素在地上部新生器官中均衡分配。施肥区根系的 Ndff 值与^{15}N分配率均高于非施肥区根系的 Ndff 与^{15}N 分配率,差异显著。

2.3　不同根区施肥^{15}N 肥料吸收利用率

由图 1 可以看出,各处理随施肥根区的增多,植株对^{15}N 肥料吸收利用率依次增大。在等施肥量的情况下,树盘下施肥区域增大,对肥料吸收利用率提高。4/4 根区施肥处理^{15}N 肥料吸收利用率最大,为 4.16%,分别为 1/4 根区施肥、2/4 根区施肥、3/4 根区施肥的 3.62 倍、1.65 倍、1.24 倍。可见,全树盘均匀施肥有利于氮素的吸收和肥料吸收利用率的提高。

2.4　不同根区施肥桃幼树生长发育状况

不同根区施肥处理为树体生长提供了养分,促进了桃幼树的生长。表 3 显示,5 ～7 月份,各处理桃幼树干茎生长速率均大于对照,1/4 根区施肥、2/4根区施肥、3/4 根区施肥、4/4 根区施肥生长速率分别是对照的 1.12 倍、1.18 倍、1.33 倍、1.33 倍。7 ～9 月份,1/4 根区施肥、2/4 根区施肥、3/4 根区施肥、4/4 根区施肥生长速率分别是对照的 0.98 倍、1.02 倍、1.14 倍、1.19 倍。总体以 4/4 根区施肥生长速率最大,平均为 0.57 cm/month。

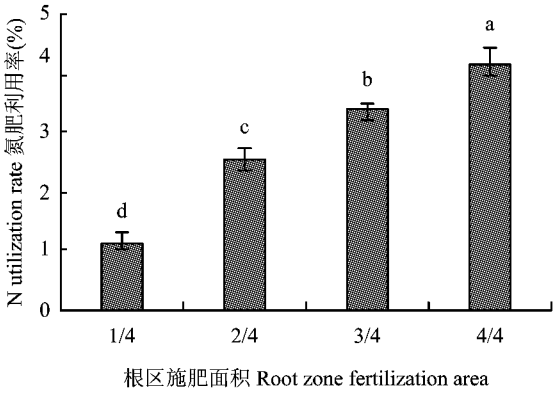

图 1　不同施肥根区面积^{15}N 肥料利用率

Fig. 1　^{15}N utilization rates under different root zone fertilization areas

[注(Note)：柱上不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars are significant among treatments at 5% level.]

表 3　不同施肥根区面积对干茎生长的影响(cm/month)

Table 3　Effect of different fertilization root zone area on the trunk diameter

处理 Treatment	5 月 14 日 May 14	6 月 14 日 Jun 14	7 月 16 日 Jul 16	8 月 16 日 Aug 16	9 月 17 日 Sep 17
1/4 根区施肥 1/4 root zone	1.01 a	1.08 b	1.75 ab	2.29 a	2.91 c
2/4 根区施肥 2/4 root zone	1.03 a	1.22 a	1.81 ab	2.49 a	3.01 bc
3/4 根区施肥 3/4 root zone	0.96 a	1.16 ab	1.84 ab	2.49 a	3.17 ab
4/4 根区施肥 4/4 root zone	1.01 a	1.16 ab	1.89 a	2.42 a	3.29 a
对照 Control	1.03 a	1.13 ab	1.68 b	2.58 a	2.85 c

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at 5% level.

不同根区施肥方式对桃幼树根系干重影响不同。由表 4 看出,各处理根系干重随施肥根区的增多有增加的趋势。施肥区细根干重,4/4 根区施肥处理最大为 4.65 g,分别是 1/4 根区施肥、2/4 根区施肥、3/4 根区施肥的 2.20 倍、1.23 倍、1.10 倍。在非施肥区,细根干重以 3/4 根区施肥处理最大为 3.34 g,分别是 1/4 根区施肥、2/4 根区施肥处理的 1.39 倍、1.13 倍。施肥区粗根干重,4/4 根区施肥处理最大,为 7.00 g,分别是 1/4 根区施肥、2/4 根区施肥、3/4 根区施肥的 2.21 倍、1.64 倍、1.20 倍。非施肥区粗根干重,以 3/4 根区施肥处理最大,为 10.24 g,分别是 1/4 根区施肥、2/4 根区施肥处理的 2.12 倍、1.19 倍。除 1/4 根区施肥处理外,其它各处理施肥区细根干重均大于非施肥区,并均大于对照。施肥区的根系总干重均小于非施肥区根系的总干重。各处理施肥区粗根均小于非施肥区。可见,在根区养分浓度大于一定阈值时,会抑制细根的生长,小于一定阈值时,可促进细根的生长；在养分局部供应条件下,非养分供应区表现出显著的补偿效应。

表4 不同根区施肥方式对根系干重的影响(g)

Table 4 Effect of different root zone fertilization methods on the root try matter

项目 Item		处理 Treatment				
		1/4 根区施肥 1/4 root zone	2/4 根区施肥 2/4 root zone	3/4 根区施肥 3/4 root zone	4/4 根区施肥 4/4 root zone	对照 Control
细根 Fine root	施肥区 Fertilization zone	2.11 c	3.78 b	4.23 ab	4.65 a	
	非施肥区 Non-fertilization zone	2.40 b	2.95 ab	3.34 a		2.68 ab
粗根 Thick root	施肥区 Fertilization zone	3.17 b	4.26 b	5.83 a	7.00 a	
	非施肥区 Non-fertilization zone	4.84 c	8.64 b	10.24 a		6.02 c
总根 Total root	施肥区 Fertilization zone	5.28 d	8.04 c	10.06 b	11.65 a	
	非施肥区 Non-fertilization zone	7.24 c	11.60 b	13.58 a		8.70 c

注(Note):数字后不同字母表示相同施肥区不同施肥处理差异达5%显著水平 Values followed by different letters in the same row are significantly different at 5% level.

2.5 交替施肥对^{15}N吸收利用率的影响

由图2可以看出,2/4根区固定施肥氮肥吸收利用率为2.52%,但与2/4根区交替施肥没有显著差异。

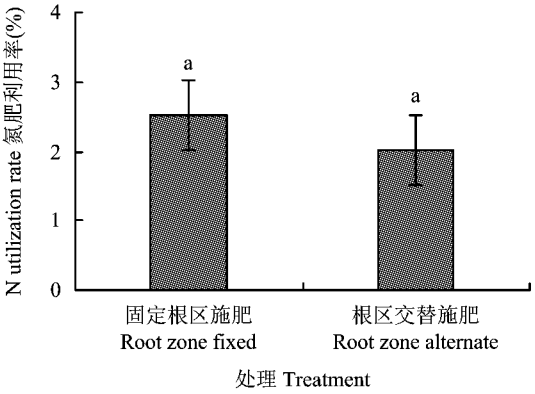

图2 交替施肥对^{15}N肥料吸收利用率的影响

Fig.2 Effect of the alternate partial root zone fertilization on ^{15}N use efficiency

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant among treatments at 5% level.]

2.6 交替施肥对桃幼树干茎生长的影响

表5显示,5~7月份,2/4根区固定施肥、2/4根区交替施肥处理桃幼树的生长速率分别是对照的1.34倍、1.03倍。7~9月份,2/4根区固定施肥、2/4根区交替施肥处理桃幼树生长速率分别是对照的0.97倍、1.10倍。5~9月份,2/4根区固定施肥、2/4根区交替施肥、对照的生长速率分别为0.50、0.49、0.46 cm/month。两种施肥处理桃幼树生长速率无显著差异。

3 讨论与结论

植物主要通过根系从土壤中吸收水分和养分,土壤养分供应状况直接影响到植株根系的吸收与生长以及地上部的生长发育。施肥方式不同会影响养分在土壤中的分布,进而影响肥料的利用率。吴小宾[12]的研究表明,施肥枪均匀施肥比放射沟局部施肥氮素的吸收率高5.87个百分点。试验结果表明,植株氮肥利用率随施肥根区的增多而增大,4/4根区施肥处理^{15}N肥料吸收利用率最大,分别为1/4根区施肥、2/4根区施肥、3/4根区施肥的3.62倍、1.65倍、1.24倍。可见,在施肥总量恒定的情况下,局部施肥肥料集中分布在施肥区,被根系有效吸收相对较少,短期内土壤有效氮浓度迅速提高,养分浓度波动幅度大,难以被根系有效吸收利用[13]。均匀施肥可使肥料均匀地施在根系周围,增大根系与肥料的接触面积,提高土壤中有效养分浓度,利于根系对养分的吸收,提高肥料利用率,促进树体生长。桃树对氮素的养分需求从萌芽到新梢加速生长,为大量需氮期[14],此时稳定的氮素供应,可促进器官分化、形成以及树体形态建成。肥料为桃树供应充足的养分,有利于桃树的正常生长发育。研究表明,植物吸收利用外界营养物质的适宜浓度极低(<1umol/L),因此,根系区域的肥料浓度维持在很低的浓度就可以使植物处于最佳的生长状态[15-16]。5~9月份,1/4根区施肥、2/4根区施肥、3/4根区施肥、4/4根区施肥新梢生长速率分别是0.48、0.50、0.55、0.57 cm/month。在养分集中供应根区

的根系对氮的吸收相对较多，根系氮肥分配率较高，但植株氮肥吸收利用率降低，不能为桃树正常的生长发育提供足够的营养，不利于植株地上部的形态建成，总的生长量低于均匀施肥处理。

表 5　交替施肥对桃幼树干茎的影响(cm/month)

Table 5　Effect of the alternate partial root zone fertilization on the trunk diameter of young peach trees

处理 Treatment	5 月 14 日 May 14	6 月 14 日 Jun 14	7 月 16 日 Jul 16	8 月 16 日 Aug 16	9 月 17 日 Sep 17
2/4 根区固定施肥 2/4 root zone fixed fertilization	1.03 a	1.22 a	1.81 a	2.49 a	3.01a
2/4 根区交替施肥 2/4 root zone alternate fertilization	0.99 a	1.04 b	1.59 a	2.17 b	2.96 a
对照 Control	1.03 a	1.13 ab	1.61 a	2.58 a	2.85 b

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters are significantly different among treatments at 5% level.

研究表明部分根系不供养分时，充分供应区根系的生长受到明显刺激，表现在侧根数目的增多和侧根的伸长。习金根等[17]研究部分根系施肥对剑麻根系生长的影响时发现，施肥区须根发达，根毛较密，发根量增多。也有前人研究表明，低养分浓度的环境能促进根系的生长[18]。本试验在大田条件下进行，不同根区施肥对桃幼树根系生长有一定的影响。试验结果表明，除 1/4 根区施肥处理，其它各处理细根干重均大于对照，施肥区细根干重均大于非施肥区细根干重。在一定施肥浓度范围内，施肥刺激了细根的生长，且随养分浓度的减小，干重增大。而施肥区粗根干重均小于非施肥区粗根干重；施肥区根系总干重均小于非施肥区根系总干重。大田条件下，局部养分供应对桃根系生长影响的机制和确定利于桃根系生长的养分浓度，还有待进一步研究 。

果树根系是“ 生态变异大、对环境反应敏感、功能性不完整的补偿结构 ”，其生长发育在特定的土壤条件下会形成特定的功能适应型[19]。而当土壤环境条件发生变化后果树根系便会产生不适应，需要进行一系列的调整重新建立起新的适应型[20]。本试验研究结果表明，两种局部施肥方式下，2/4 根区交替施肥处理氮肥利用率均低于 2/4 根区固定施肥处理施肥。这可能是因为，固定施肥处理，2 次施肥位置不变，根系在第一次施肥处理刺激下，根系建立起一种生态适应型，再次施肥时根系更容易感受到养分信号，利于根系对养分的高效吸收；而交替施肥处理，2 次施肥位置发生变化，根系原有的生态适应型被破坏，后施肥边根系吸收养分需要重新感受土壤养分信号，需要一定的时间通过一定的生理生化过程重新建立生态适应型，这不利于根系对养分的及时吸收。本研究发现，2/4 根区固定施肥桃幼树植株总干重低于 2/4 根区交替施肥处理桃幼树植株总干重，这可能是局部施肥降低了非施肥区的氮素供应与吸收，从而减少了干物质积累量。另外，试验是在大田条件下进行的，2/4 根区局部施肥方式可能会存在部分养分的侧渗，因此，植株对养分的吸收和利用状况，可能会与盆栽严格控制条件下局部施肥结论并不完全一致，还有待进一步试验验证。

参 考 文 献：

[1] 高祥照，马文奇，杜森，等. 我国施肥中存在问题分析[J]. 土壤通报，2001，32 (6)：258-261.
Gao X Z, Ma W Q, Du S *et al*. Current status and problems of fertilization in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32 (6): 258-261.

[2] 王宜伦，张许，谭金芳，韩燕来. 农业可持续发展中的土壤肥料问题与对策[J]. 中国农学通报，2008，24 (11)：278-281.
Wang Y L, Zhang X, Tan J F, Han Y L. Problem and solutions of soil and fertilizers in agricultural sustainable development [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24 (11): 278-281.

[3] 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.
Huang G Q, Wang X X, Qian H Y *et al*. Negative impact of inorganic fertilizes application on agricultural environment and its countermeasures[J]. Ecology and Environment, 2004, 13 (4): 656-660.

[4] 马洪斌，李晓欣，胡春胜. 中国地下水硝态氮污染现状研究[J]. 土壤通报，2012，43(6)：1532-1536.
Ma H B, Li X X, Hu C S. Status of nitrate nitrogen contamination

of groundwater in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43 (6): 1532-1536.

[5] 庞欣，李春俭，张福锁. 部分根系供磷对小麦幼苗生长及同化物分配的影响[J]. 作物学报，2000，26 (6)：719-724.
Pang X, Li C J, Zhang F S. Effect of partial-root supply of P nutrient on the growth and assimilate distribution of wheat seedlings[J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26 (6): 719-724.

[6] Whiting S N, Leake J R, McGrath S P, Baker A J M. Positive responses to Zn and Cd by roots of the Zn and Cd hyperaccumulator *Thlapi caerulescens*[J]. New Phytologist, 2000, 145: 199-210.

[7] Hodge A. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients[J]. New Phytologist, 2004, 162: 9-24.

[8] Lainé P, Ourry A, Boucaud J, Salette J. Effects of a localized supply of nitrate on NO_3^- uptake rate and growth of roots in *Lolium multiflorum* Lam[J]. Plant and Soil, 1998, 202: 61-67.

[9] 秦岭，魏钦平，李嘉瑞，等. 根区不同改土模式对葡萄根系生长的影响[J]. 中国农学通报，2005，217：270-272.
Qin L, Wei Q P, Li J R *et al*. Effects of soil amended model in root-zone on growth of grape roots [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 217 : 270-272.

[10] 顾曼如. ^{15}N 在苹果氮素营养研究中的应用[J]. 中国果树，1990，(2)：46-48.
Gu M R. The application of ^{15}N in the study of nitrogen nutrition of apples[J]. China Fruits, 1990, (2): 46-48.

[11] 徐季娥，林裕益，吕瑞江，等. 鸭梨秋施^{15}N-尿素的吸收与分配[J]. 园艺学报，1993，20 (2)：145-149.
Xu J E, Lin Y Y, Lü R J *et al*. Studies on the absorption and the distribution of ^{15}N-Labelled urea to 'Yali' pear trees following autumn application[J]. Acta Horticulturae Sinica., 1993, 20 (2): 145-149.

[12] 吴小宾，彭福田，崔秀敏，等. 施肥枪施肥对桃树氮素吸收分配及产量品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17 (3)：680-687.
Wu X B, Peng F T, Cui X M *et al*. Effects of fertilization with a fertilizer applicator on nitrogen absorption and distribution, and fruit yield and quality of peach[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17 (3): 680-687.

[13] 张守仕，彭福田，姜远茂，等. 肥料袋控缓释对桃氮素利用率及生长和结果的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14 (2)：379-386.
Zhang S S, Peng F T, Jiang Y M *et al*. Effects of bag controlled-release fertilizer on nitrogen utilization rate, growth and fruiting of peach[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14 (2): 379-386.

[14] 顾曼如，张若抒，束怀瑞，等. 苹果氮素营养研究初报-植株中氮素营养的年周期变化特性[J]. 园艺学报，1981，8(4)：21-28.
Gu M R, Zhang R S, Shu H R *et al*. A study on the nitrogen nutrition of apple tree-The variation of nitrogen nutrition within the plant in a year's cycle[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1981, 8 (4): 21-28.

[15] Ingestad T, Göran I, Ågren G I. Theories and methods on plant nutrition and growth[J]. Physiol Plant, 1992, 84 (2): 177-184.

[16] Ingestad T. Relative addition rate and external concentration; driving variable used in plant nutrition research[J]. Plant, Cell and Environment, 1985, (6): 443-453.

[17] 习金根，周文钊，石伟琦，孙光明. 部分根系施肥对剑麻植株和根系生长的影响[J]. 安徽农业科学，2009，37 (29)：14171-14172.
Xi J G, Zhou W Z, Shi W Q, Sun G M. Effects of partial- roots fertilization on the growth of sisal hemp plant and roots[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37 (29) : 14171-14172.

[18] 王庆成，程云环. 土壤养分空间异质性与植物根系的觅食反应[J]. 应用生态学报，2004，15 (6)：1063-1068.
Wang Q C, Cheng Y H. Response of fine roots to soil nutrient spatial heterogeneity[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15 (6): 1063-1068.

[19] 束怀瑞. 我国果树业生产现状和待研究的问题[J]. 中国工程科学，2003，5 (2)：45-48.
Shu H R. Development status of fruit industry in China and several problems to be studied[J]. Engineering Science, 2003, 5 (2): 45-48.

[20] 吕德国. 土壤转换对二年生平邑甜茶根系发生与功能的影响[J]. 园艺学报，2000，27 (2)：135-136.
Lü D G. Influence of soil changing on root development and function of 2 - year-old ping yi tian cha (*Malus hupehensis* Rehd.)[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2000, 27 (2): 135-136.