

断根深度对花生光合特性及干物质积累的影响

冯 锴,赵长星,王月福,陈安余,王铭伦

(青岛农业大学 农学与植物保护学院,山东省旱作农业技术重点实验室,山东 青岛 266109)

摘要:为了探究花生适宜的断根深度,为花生高产栽培提供理论与技术依据。采用箱栽方法,研究了断根深度对花生光合特性及干物质积累的影响。结果表明,不同断根深度处理在短时间内均造成叶片叶绿素含量、净光合速率、单株叶面积、茎叶干物重、根系干物重、荚果干物重降低,并随着断根深度的加深降低幅度呈加大的趋势。之后适度断根处理的叶片叶绿素含量、净光合速率、单株叶面积、茎叶干物重、根系干物重、荚果干物重均高于对照,且有时达到显著或极显著水平,但过度断根处理叶片叶绿素含量、净光合速率、单株叶面积、茎叶干物重、根系干物重、荚果干物重则一直均低于对照。说明适度断根在前期可以控制花生茎叶根系的生长,之后具有补偿甚至超补偿效应,过度断根则不具有补偿效应。认为花生的适宜断根深度在 10~15 cm。

关键词:花生;断根;深度;光合特性;干物质积累

中图分类号:S565.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)02-0188-05

Effects of Depth of Root Cutting on the Photosynthetic Characteristics and Dry Matter Accumulation of Peanut

FENG Kai, ZHAO Chang-xing, WANG Yue-fu, CHEN An-yu, WANG Ming-lun

(College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University,

Shandong Key Laboratory of Dry Farming Techniques, Qingdao 266109, China)

Abstract: In order to investigate the appropriate depth of root cutting for peanut, and provide theoretical and technical basis for peanut high-yield cultivation, the effects of depth of root cutting on the photosynthetic characteristics and dry matter accumulation were studied by using the box-planting methods. The results showed: Different depths of root cutting treatments all reduced leaf chlorophyll content, net photosynthetic rate, leaf area per plant, stem and leaf dry matter weight, root dry matter weight and pod dry matter weight in a short time after root cutting. Moreover, the decrease range of them showed increasing trend with the increase of root cutting depth. In afterwards, the effects of the suitable depth of root cutting on leaf chlorophyll content, net photosynthetic rate, leaf area per plant, stem and leaf dry matter weight, root dry matter weight and pod dry matter weight were higher than these of the control, and of them sometimes reached to significant or extremely significant level. However, excessive root cutting can cause leaf chlorophyll content, net photosynthetic rate, leaf area per plant, stem and leaf dry matter weight, root dry matter weight and pod dry matter weight lower than the control. This showed that moderate root cutting of peanut in early growing stage can regulate and control the growth of root system, in afterwards, bring with compensation and super compensation effect on peanut growth and development, and excessive root cutting has no compensation effects. This research suggested that moderate depth of root cutting is between 10 to 15 cm.

Key words: Peanut; Root cutting; Depth; Photosynthetic characteristics; Dry matter accumulation

花生是我国重要的油料和经济作物,我国花生总产、单产和出口量均居世界首位。花生属多次性

开花结实、具有无限生长习性的油料作物。在花生生产中,随着地力和产量水平的不断提高,营养生长

收稿日期:2013-11-06

基金项目:国家自然科学基金项目(31271657);国家现代农业(花生)产业技术体系项目(Ncytx-19);山东省(花生)现代农业产业技术体系项目;山东省“泰山学者”建设项目;山东省高校旱作节水优秀创新团队项目

作者简介:冯 锴(1989-),男,山东威海人,在读硕士,主要从事花生高产栽培生理研究。

通讯作者:王月福(1963-),男,山东莱阳人,教授,博士,主要从事作物高产栽培理论与技术研究。

过旺,抑制生殖生长,表现为徒长或贪青晚熟,甚至倒伏,而严重减产。因此,如何防止营养器官的冗余生长,协调好营养生长和生殖生长、地上部和地下部的关系,对实现花生高产优质高效具有重要意义。

生产中为减少营养器官冗余生长采取的主要措施有花生剪心,花生剪心可以抑制徒长避免倒伏,提高荚果产量。缺点是费工费时,并且剪去生长点后,株高虽降低,但引起分支增加。再是通过踩秧控制植株旺盛的营养生长,达到控上促下、控秧促根,最终达到促果增产的目的。目前,主要采取的措施是采用化学控制的方法,花生化控效果显著,但是化控后往往容易引起早衰,落叶过早,而影响产量的提高。断根或根修剪栽培就是通过控制根系的生长来调节地上部和地下部、营养生长和生殖生长过程的一种栽培方式。而有关断根对植物生长调控作用的研究主要集中在果树栽培上^[1]。在苹果^[2-5]、桃^[6-7]等果树上,通过根系修剪调节根系生长发育,进而调控地上部生长发育状况,比直接对地上部采取措施,效果更为直接有效。使树体营养生长削弱、树体矮化、短枝比例增加,花芽分化多。与果树断根研究相比,对粮食作物断根的研究较少。余松烈等^[8-9]就冬小麦深耘断根的效应进行了研究,提出了冬小麦深耘断根栽培技术。桂明珠等^[10]有关大豆断根研究表明,适宜的断根处理可明显改善根系生长状况与吸收能力。花生号称先锋作物,抗旱耐瘠,与其发达的根系密切相关。但是,对于高产花生来说,土壤水分和矿质营养不再是限制生长的主要因子,过于庞大的根系就成了生长冗余。目前,关于在花生上进行断根的研究和应用尚未见报道。因此,本研究就花生不同苗情状况、断根程度与时间对花生生长、产量形成的影响进行试验研究,探寻具有正向效应的断根程度与时间的优化组合,给出断根的具体条件,并探讨其内在机制,对丰富花生栽培理论与技术具有重要的意义。本研究探讨了不同断根深度(程度)对花生光合特性及干物质积累的影响,以明确花生适宜的断根深度(程度),旨在为花生高产栽培提供理论和技术依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2012年在青岛农业大学农学与植物保护学院实验站进行。供试土壤为取自青岛农业大学莱阳实验基地试验田(0~30 cm)土层的土壤,砂壤土,有机质 13.26%,碱解氮 66.76 mg/kg,速效磷 10.11 mg/kg,速效钾 77.00 mg/kg。采用 PVC 板制

成可拆卸的长 40 cm、宽 20 cm、高 100 cm 的塑料箱,于前 1 年的 10 月份,装上述土壤并埋于土中,用水沉实,使箱子中的土壤紧实度接近于大田土壤。播种前,将纯氮 0.96 g、 P_2O_5 1.2 g、 K_2O 0.96 g、合成有机肥 12 g 均匀地施于每个箱子 15 cm 土层中。试验设置断根深度分别为 0, 5, 10, 15, 20, 25 cm 6 个处理,每个处理 12 个箱子,共 72 个箱子。为使试验接近于大田生产,处理间箱子间隔 10 cm,同处理间不做间隔,相当行距 50 cm、株距 20 cm,在箱栽试验区周围种植 1 m 宽与试验箱相同行距株距的保护区。供试花生品种为青花 7 号。于 5 月 6 日,选均匀饱满的种子每个土柱播种 4 粒,出苗后选留 2 株。断根处理于盛花期距离主茎 10 cm 处,用自制断根铲垂直断根。其他管理同一般大田生产。

1.2 测定项目与方法

断根后第 2, 5 天进行取样,以后每隔 10 d 取样一次,共取样 6 次。取样时挖开土柱周围的土,将整个土柱抬起,拆卸后用流水冲洗法缓慢冲洗花生根系,保持根系的完整。各器官干物质的测定方法为先在 105 °C 杀青 0.5 h,然后在 75 °C 烘至恒重,称量;叶片光合速率,选择光照良好的时间段上午 10 点左右,用英国产 Li-6400 便携式光合测定仪测定花生倒三叶的光合速率;叶片叶绿素含量用日产 SPAD-502 叶绿素计进行测定;叶面积使用 AM-100 型叶面积仪测定。

1.3 数据分析

数据、图表处理在 Excel 下进行,统计分析和差异显著性检验在 SPSS 数据处理系统下进行。

2 结果与分析

2.1 断根深度对花生叶片叶绿素 SPAD 值和净光合速率变化的影响

由表 1, 2 可以看出,各断根处理花生功能叶片叶绿素 SPAD 值和净光合速率变化趋势相同,均呈现先增大后下降的趋势,在断根后 15 d 达最大值。与对照比较,各断根处理在短时间内(断根后 5 d 内)均造成叶绿素 SPAD 值和净光合速率降低,并随着断根深度的加深降低幅度呈加大的趋势。自断根后 15 d 测定断根深度为 10, 15 cm 2 个处理的叶绿素 SPAD 值和净光合速率均高于对照,且有时达到显著或极显著水平。断根深度为 5, 10, 15 cm 3 个处理比较,叶绿素 SPAD 值和净光合速率随着断根深度的增加而呈升高的趋势,但仅在断根 35 d 之后差异才达显著水平。断根深度为 20, 25 cm 2 个处理的叶绿素 SPAD 值和净光合速率则一直均低于对

照。说明适度断根虽然短时间内降低了叶片叶绿素 SPAD 值和净光合速率,但之后能够迅速补偿甚至

超补偿叶片叶绿素 SPAD 值和净光合速率的降低,过度断根则不具有补偿效应。

表 1 断根深度对花生叶片叶绿素 SPAD 值变化的影响

Tab. 1 Effect of depth of root cutting on SPAD change in the leaves of peanut

断根深度/cm Depth of root cutting	断根后天数/d Days after root cutting					
	2	5	15	25	35	45
0	41.10Aa	45.50Aa	47.67ABbc	43.60ABa	34.37Bcd	28.81ABbc
5	41.30Aa	44.83Bb	48.13ABab	45.35Aa	37.12ABab	30.81ABbc
10	40.20Bb	43.77Cc	48.67Aab	46.60Aa	39.53Aab	34.10ABab
15	39.45Cc	43.80Cc	49.07Aa	46.61Aa	40.84Aa	35.33Aa
20	38.70Dd	42.74Ee	45.93BCcd	41.00Bb	33.31Bd	27.87ABbc
25	39.10Dd	42.81Dd	45.50Cd	40.67Bb	32.43Bd	26.13Bc

注:同列不同大小字母分别表示处理间差异显著($P < 0.01$)和($P < 0.05$)。表 2~6 同。

Note: Different capital and small letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same as Tab. 2~6.

表 2 断根深度对花生叶片净光合速率变化的影响

Tab. 2 Effect of depth of root cutting on photosynthetic rate of peanut leaves

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

断根深度/cm Depth of root cutting	断根后天数/d Days after root cutting					
	2	5	15	25	35	45
0	21.10Aa	23.10ABbc	26.51Bc	23.70Bb	19.10Cb	13.90Cd
5	20.67Aa	23.60ABabc	26.12Bc	24.13Bb	19.33BCb	14.70Bc
10	18.70Bb	24.15Aa	28.47Ab	25.34Aa	20.98ABa	16.75Ab
15	18.65Bbc	23.87ABab	29.10Aa	25.90Aa	21.40Aa	17.40Aa
20	18.10Bbc	22.81Bcd	25.25Cd	22.40Cc	16.97Dc	12.81De
25	17.90Bc	22.50Bd	24.99Cd	22.30Cc	15.67Dd	11.93Ef

2.2 断根深度对花生单株叶面积变化的影响

由表 3 可以看出,各断根处理花生叶面积变化趋势一致,均呈现先增大后下降的趋势,在断根后 15 d 达最大值。与对照比较,各断根处理在短时间内(断根后 5 d 内)均造成叶面积降低,并随着断根深度的加深降低幅度呈加大的趋势。自断根后 15 d 测定断根深度为 10,15 cm 2 个处理的叶面积均高于

对照,且有时达到显著或极显著水平。断根深度为 10,15 cm 2 个处理比较,叶面积以断根深度 15 cm 处理为大。断根后 25 d 测定断根深度 5 cm 处理的叶面积高于对照。断根深度为 20,25 cm 2 个处理的叶面积则一直均低于对照。说明适度断根虽然短时间内降低了叶面积,但之后能够迅速补偿甚至超补偿叶面积的降低,过度断根则不具有补偿效应。

表 3 断根深度对花生单株叶面积变化的影响

Tab. 3 Effect of depth of root cutting on the change of leaf area per plant of peanut

cm^2

断根深度/cm Depth of root cutting	断根后天数/d Days after root cutting					
	2	5	15	25	35	45
0	32.41Aa	41.50Aa	45.60Aa	30.00BCcd	21.60Ccd	16.51Dd
5	31.00ABb	37.80ABb	42.84BCb	30.30Bc	22.80Cc	17.57Cc
10	29.11ABb	35.00BCbc	46.70ABa	32.61Ab	26.33Bb	19.39Bb
15	27.90BCb	33.80BCbc	47.60ABa	35.90Aa	29.10Aa	21.00Aa
20	26.50CDc	32.38BCc	40.80CDb	24.13BCde	20.20Ccd	16.67Dd
25	25.80Dc	31.29Cc	39.20Dc	23.37Ce	20.00Cd	15.50Ee

2.3 断根深度对花生叶片和茎秆干物重变化的影响

由表 4 可以看出,各断根处理的花生叶片和茎秆干物重,均呈先增大后降低的变化趋势,叶片干物重在断根后 25 d 达最大值,茎秆干物重在断根后 35 d 达最大值。各断根处理在断根后 25 d 内均造成叶片干物重降低,并随着断根深度的加深降低幅度呈加大的趋势。断根后 35 d 测定,断根深度为 5,10,15 cm 3 个处理的叶片干物重均高于对照,且有时达到显著水平。断根深度为 5,10,15 cm 3 个处理比

较,叶片干物重以断根深度 15 cm 处理为大。断根深度为 20,25 cm 2 个处理的叶片干物重则一直低于对照。各断根处理在断根后 35 d 内均造成茎秆干物重降低,并随着断根深度的加深降低幅度呈加大的趋势。断根后 45 d 测定断根深度为 5,10,15 cm 3 个处理的茎秆干物重才高于对照。断根深度为 20,25 cm 2 个处理的叶片干物重则一直均低于对照。说明断根对控制茎叶生长具有很好的效果。

表 4 断根深度对花生叶片和茎秆干物重变化的影响

Tab. 4 Effect of depth of root cutting on dry matter weight of leaves and stems of peanut

g/plant

项目 Items	断根深度/cm Depth of root cutting	断根后天数/d Days after root cutting					
		2	5	15	25	35	45
叶片 Leaf	0	15.45Aa	18.16Aa	22.84Aa	25.23Aa	21.40Bb	15.37Dd
	5	14.88Bb	17.86Aa	21.36ABb	24.43Bb	21.70ABb	15.85Cc
	10	14.18Cc	16.16Bb	21.40Bbc	24.18BCb	21.94ABab	17.20Bb
	15	14.08Cc	16.17Bb	21.54Bc	24.05Cc	22.54Aa	17.86Aa
	20	13.38Dd	15.47Cc	20.25Cd	22.34Dd	19.75Cc	14.18Ee
	25	12.70Ee	14.98Cd	19.95Cd	22.24Dd	19.45Cc	14.00Ee
茎秆 Stem	0	5.09Aa	7.54Aa	10.89Aa	12.82Aa	13.61Aa	9.55Aa
	5	4.48Bb	7.05Bb	10.85Aa	12.60Aa	13.25Ab	9.62Ab
	10	4.60Bb	6.20Cc	9.94Bb	11.95Bb	13.00Cc	10.16Cc
	15	4.13Cc	6.32Cc	8.98Cc	11.38Cc	12.38Dd	11.18Cc
	20	3.92Cd	5.86Dd	8.61Dd	9.94Dd	10.72Ee	8.94Dd
	25	3.52De	5.12Ee	7.71Ee	9.46De	10.26Ee	8.83De

2.4 断根深度对花生根系干物重变化的影响

由表 5 可以看出,各断根处理的花生根系干物重,均呈先增大后降低的变化趋势,在断根后 25 d 达最大值。各断根处理在断根后 25 d 内均造成根系干物重降低,并随着断根深度的加深降低幅度呈加大的

趋势。断根后 35 d 测定断根深度为 5,10,15 cm 3 个处理的根系干物重均高于对照。断根深度为 20,25 cm 2 个处理的根系干物重则一直低于对照。说明断根对控制根系生长具有很好的效果。

表 5 断根深度对花生根系干物重变化的影响

Tab. 5 Effect of depth of root cutting on root dry matter weight of peanut

g/plant

断根深度/cm Depth of root cutting	断根后天数/d Days after root cutting					
	2	5	15	25	35	45
0	2.39Aa	3.24Aa	5.99Aa	7.05Aa	4.07Aa	2.30ABab
5	2.16Aab	2.94Bb	5.54Aab	6.86Bb	4.10Aa	2.31Aab
10	2.11ABbc	2.73Cc	4.39Ab	6.40Cc	4.65Aa	2.34Aab
15	2.05ABc	2.63Cd	4.30Ab	6.42BCc	4.54Aa	2.40Aa
20	1.99Bc	2.49De	3.96Bc	6.12Dd	3.45Bb	2.17ABbc
25	1.96Bc	2.36Df	3.84Bc	6.00Dd	3.34Bb	2.08Bc

2.5 断根深度对花生荚果干物重变化的影响

从表 6 可以看出,在断根后 15 d 之前,各断根处理的荚果干物重均低于对照,并随断根深度增加降低幅度增大,处理间达到显著水平。之后断根深度为 5,10,15 cm 3 个处理的荚果干物重均高于对照,且有时达到显著或极显著水平。断根深度为 5,

10,15 cm 3 个处理比较,荚果干物重随着断根深度的增加而显著提高。断根深度为 20,25 cm 2 个处理的荚果干物重则一直低于对照。说明适度断根虽然短时间内降低了荚果干物重,但之后能够迅速补偿甚至超补偿荚果干物重的降低,过度断根则不具有补偿效应。

表 6 断根深度对花生荚果干物重的影响

Tab. 6 Effect of depth of root cutting on pod dry matter weight of peanut

g/plant

断根深度/cm Depth of root cutting	断根后天数/d Days after root cutting					
	2	5	15	25	35	45
0	1.98Aa	5.98Aa	11.22Aa	21.47Cd	33.04Bb	40.61Cc
5	1.56Bb	5.38ABa	11.34ABa	22.10Bc	33.76Bb	41.63Dd
10	1.61Dd	5.71ABa	11.07ABa	24.36Ab	36.60Aa	45.30Aa
15	1.68Bb	4.35BCb	11.00ABab	25.32Aa	37.54Aa	46.30Bb
20	1.62Cc	2.40Dc	9.25BCbc	20.17De	30.23Cc	38.30Ee
25	1.61Dd	2.25Dc	10.78Cc	20.56De	30.14Cc	37.20Ef

3 讨论与结论

刘子会等^[11-12]在小麦起身期断初生根和部分次生根,均降低了断根初期小麦光合速率,而促进后

期光合速率,同时断根降低了成熟期小麦根系干物重、地上部干物重以及产量。王法宏等^[13]小麦深耘断根可提高生育后期旗叶光合速率 5%~8%,从而显著提高籽粒产量。王振宇等^[14]认为,断根使总体

光合活性增强,促进了能量向地上部运转。在干旱处理下,断根降低了根冠比,提高了小麦穗重和籽粒产量。马守臣等^[15]研究发现,断根和不断根冬小麦地上生物量与籽粒产量差异均不显著,断根处理虽显著降低了根系生物量,但对根冠比影响却不显著。断根还使冬小麦光合产物在籽粒中的分配比例增加,使收获指数有所提高。董桂菊等^[16]提出苗期伤根处理前期抑制春小麦生长,后期则促进春小麦光合作用及光合产物积累。汪强等^[17]常规水稻断1/4、2/4和3/4根系时,平均每穴籽粒产量较不断根的分别下降23%、15%、20%;旱作条件下,断1/4、2/4和3/4根系的水稻较全根的分别增产20%、7%、3%,认为通过断根而抑制水稻根系冗余生长或阻止冗余的根系消耗光合产物可增加旱作水稻的籽粒产量。张红等^[18]无盐和低盐胁迫下,断根前期其根及地上部干物重小于全根玉米,之后玉米生长恢复迅速,乳熟期断根玉米的根及地上部干物重、叶面积、叶绿素含量,以及穗位叶净光合速率均显著高于全根玉米,表明断根玉米的籽粒产量显著高于全根玉米。杨洪强等^[19]5年生盆栽苹果断根后第2天光合速率不及对照的一半,第7天接近对照,第14天已恢复至对照水平,第21天开始高于对照,之后逐渐升高(第28~42天)。本试验结果表明:不同断根深度处理在短时间内均造成叶片叶绿素含量、净光合速率、单株叶面积、茎叶干物重、根系干物重、荚果干物重降低,并随着断根深度的加深降低幅度呈加大的趋势。之后适度断根处理的叶片叶绿素含量、净光合速率、单株叶面积、茎叶干物重、根系干物重、荚果干物重均高于对照,且有时达到显著或极显著水平,但过度断根处理叶片叶绿素含量、净光合速率、单株叶面积、茎叶干物重、根系干物重、荚果干物重则一直低于对照。说明适度断根在前期可以控制花生茎叶根系的生长,之后具有补偿甚至超补偿效应,过度断根则不具有补偿效应。研究认为花生的适宜断根深度在10~15 cm。

参考文献:

[1] Ferree D C, Geisler D. Root pruning as a means of size control[M]//International Workshop on Controlling Vigor in Fruit Trees. Maryland: Faust M, 1984: 269 - 276.
 [2] Chandler C K, Miller D D, Ferree D C. Influence of leaf removal, root pruning, and soil addition on the growth of greenhouse-grown strawberry plants[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1988, 113(4): 529 - 532.
 [3] Ferree D C, Knee M. Influence of root pruning and root-

stock on growth and performance of 'Golden Delicious' apple[J]. HortScience, 1997, 32(4): 645 - 648.
 [4] Liu W, Tang J L, Guo Y M. The initial study of effects of apple root-cutting[J]. Northern Horticulture, 1997, 116: 67 - 69.
 [5] Ran X T. Improvement of root-cutting on apple root and newly-born branch[J]. Journal of Fruit Sciences, 1988, 15(3): 203 - 206.
 [6] Richards D, Rowe R N. Effects of root restriction, root pruning and 6-benzylaminopurine on the growth of peach seedlings[J]. Annals of Botany, 1977, 41(4): 729 - 740.
 [7] Myers S C. Root restriction of apple and peach with in ground fabric containers[J]. Acta Horticulturae, 1992, 322: 215 - 220.
 [8] 余松烈, 亓新华, 金留福, 等. 冬小麦返青期中耕对植株的抑制和促进作用的研究[J]. 作物学报, 1965, 4(2): 127 - 134.
 [9] 余松烈, 亓新华, 刘希运, 等. 冬小麦深耕断根增产作用的研究[J]. 中国农业科学, 1985, 18(4): 30 - 35.
 [10] 桂明珠, 马和平, 张福顺. 大豆断根发根的解剖学研究[J]. 大豆科学, 1989, 3(4): 345 - 349.
 [11] 刘子会, 柳斌辉, 李运朝, 等. 起身期断根对冬小麦后期光合和生长的影响[J]. 华北农学报, 2007, 22(5): 189 - 190.
 [12] 柳斌辉, 刘子会, 张文英, 等. 断根对不同根型小麦光合和生长的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(增刊): 99 - 103.
 [13] 王法宏, 王旭清, 曹宏鑫, 等. 冬前深耕断根对小麦根系活性的垂直分布及旗叶衰老的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, 32(4): 503 - 507.
 [14] 王振宇, 吕金印, 徐炳成, 等. 断根对冬小麦荧光特性和产量的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(2): 0276 - 0281.
 [15] 马守臣, 徐炳成, 黄占斌, 等. 黄土旱塬冬小麦返青期断根对根冠比、水分利用及产量的影响[J]. 植物生态学报, 2006, 30(6): 976 - 982.
 [16] 董桂菊, 刘文兆. 伤根对春小麦光合特性及水分利用效率的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 77 - 79.
 [17] 汪强, 樊小林, 刘芳, 等. 断根和覆草旱作条件下水稻的产量效应[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 437 - 442.
 [18] 张红, 崔丽娜, 孟佳佳, 等. 断根对盐胁迫下玉米生长、光合及叶片抗氧化酶的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3377 - 3384.
 [19] 杨洪强, 接玉玲, 张连忠, 等. 断根和剪枝对盆栽苹果叶片光合蒸腾及WUE的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 197 - 202.