

施氮量对不同类型花生品种衰老特性和产量的影响

孙 虎, 王月福*, 王铭伦, 赵长星*

(青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东青岛 266109)

摘要: 为了探讨花生高产的适宜施氮量, 在大田高产条件下, 以珍珠豆型花生品种白沙 1016 和普通型花生品种花育 17 为材料, 研究了施氮量对不同类型花生品种衰老特性和产量的影响。结果表明, 两花生品种叶片叶绿素含量和光合速率、SOD 和 CAT 活性均随着施氮量的增加而增加, MDA 含量随施氮量的增加而降低, 只是白沙 1016 品种在施氮超过 135 kg/hm² 后上述指标增加或降低不显著, 说明增施氮肥可以延缓花生叶片的衰老。在一定施氮量范围内, 两花生品种有效荚果数随着施氮量的增加而增加, 千克果数随着施氮量的增加而降低, 导致荚果产量随着施氮量的增加而增加(珍珠豆型花生品种白沙 1016 施氮在 0—90 kg/hm²、普通型花生品种花育 17 在 0—135 kg/hm² 范围内), 但是超过此范围后再增加施氮量反而导致有效荚果数下降、千克果数增多、荚果产量下降。

关键词: 花生; 施氮量; 衰老; 产量

Effects of nitrogen fertilizer rate on senescence characteristics and yield of different peanut (*Arachis Hypogaea* L.) cultivars

SUN Hu, WANG Yuefu*, WANG Minglun, ZHAO Changxing*

College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong 266109, China

Abstract: Present research was carried out to investigate the suitable nitrogen fertilizer consortium for high production of peanut (*Arachis Hypogaea* L.). The effects of nitrogen fertilizer rates on senescence characteristics and yield of different peanut cultivars were studied under high-yielding field condition. The cultivars used for the study were 'Baisha 1016' (pearl bean type) and 'Huayu 17' (common type). The results showed that in the leaves of these two cultivars, chlorophyll content, photosynthetic rate, superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activities were all increased with the increase of nitrogen fertilizer rate, and malondialdehyde (MDA) was reduced, however, the above parameters did not show any significant change under nitrogen fertilizer rate exceeding 135 kg per hectare, which indicated that high level of exogenous nitrogen application can postpone the senescence in peanut leaves. With increasing the application of nitrogen within a limited range, the valid pods of two cultivars were improved, but the frequency of pods (pods per kg) was decreased, which led to the increase of fruit yield with increasing nitrogen application (under 0—90 kg/hm² and 0—135 kg/hm² nitrogen fertilizer rate of 'Baisha 1016' and 'Huayu 17' respectively). However, if exceeding these ranges, increasing nitrogen fertilizer rate resulted in the drop of valid pods, the increase of pods per kg and thereby the reduction in fruits yield. Our study has good significance in the field of legume production under fertilized conditions, as it reveals a standard consortium for exogenous nitrogen application.

Key Words: peanut (*Arachis Hypogaea* L.); nitrogen fertilizer rate; senescence; yield

花生是我国主要油料作物。花生是需氮量较多的作物, 其氮素营养来源有根瘤固氮、土壤和肥料 3 条途

基金项目: 国家科技支撑资助项目(2006BAD21B04); 山东省科技攻关资助项目(2008GG10009003); 山东省泰山学者资助项目; 国家花生产业技术体系资助项目(Nycytx-19)

收稿日期: 2009-03-18; **修订日期:** 2009-07-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyuefu01@163.com, cxzhao@qau.edu.cn

径。传统观点认为花生需氮量的 70%—80% 由根瘤固氮提供。近几年生产实践证明,花生根瘤固氮只能满足其需氮量的 40%—50%,一半以上的氮素需从土壤和肥料中获得^[1-3]。因此,合理施用氮肥是花生获得高产的重要手段。

王才斌等^[4]研究表明,施适量氮对花生苗期叶绿素合成是十分必要的,因为此期根瘤不但不能为花生植株提供氮源,而且要靠植株吸收氮素来维持根瘤的生长与发育。但施氮过多会造成“伤苗”,同样不利于叶绿素合成。即使在高肥力情况下,施适量的氮肥对夺取高产仍是十分必要的^[5]。李向东等^[6]认为,花生施用氮肥可明显提高荚果产量,即施用不同量氮肥均有不同程度的增产,而且氮肥用量在一定范围内,与荚果产量的增长量正相关。张翔^[7]认为过量施用氮肥,导致花生单株饱果数、出仁率减少,从而导致花生减产。由此可见,合理施用氮肥能明显促进花生植株生长、提高产量。但是由于各地区的土壤条件不同,试验环境各异,不同研究者对氮肥最佳施用量的报道存在一定差异。

在农业生产中,叶片早衰会造成许多作物减产^[8-12]。关于叶片衰老研究在小麦^[13-14]、水稻^[11,15]、棉花^[10,16-17]等作物上进行了较多的研究。目前花生结荚后期叶片早衰脱落是限制荚果充实和产量进一步提高的重要因素,但有关氮素对花生衰老的调控研究,国内外报道较少。李向东^[6]和王晓云等^[8]研究认为花生始花前追施氮肥提高了叶片内源多胺含量,降低了乙烯释放速率,延缓了叶绿素、蛋白质的降解,提高了活性氧清除酶类的活性,降低了膜脂过氧化程度,可以延缓花生整株衰老进程。为此,本文在大田高产条件下,研究了施氮量对不同类型花生品种衰老特性和产量的影响,旨在为合理施用氮肥、防止花生早衰提高产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2005—2006 年在青岛农业大学(原莱阳农学院)农学教学试验站进行。供试土壤为肥力中等的沙壤土,其中有机质含量 1.06%,碱解氮 53.51 mg/kg,速效磷 36.25 mg/kg,速效钾 62.44 mg/kg,pH 7.4。供试品种为珍珠豆型花生品种白沙 1016 和普通型花生品种花育 17 号。两个年度的试验结果趋势一致,本文采用 2006 年度的试验数据进行分析。

试验设置施纯氮 0、45、90、135、180 kg/hm² 5 个处理,小区宽 2.7 m,长 5 m,起垄覆膜种植,垄宽 0.9 m,垄内种植 2 行花生,每小区共种植 6 行,每穴 2 粒,穴距 16.5 cm,13.5 万穴/hm²。重复 3 次,完全随机排列。各处理均施 P₂O₅ 105 kg/hm²、K₂O 120 kg/hm²。氮肥为尿素,磷肥为普通过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。肥料混匀后于播种时开沟一次性施入土壤。5 月 6 日播种,9 月 5 日收获。

1.2 测定项目和方法

于花针期、结荚期和饱果期测定功能叶(主茎倒 5 叶)的叶绿素含量、单叶光合速率;取主茎倒 5 叶,测定超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量。收获时各处理调查有效果数、千克果数,并计产。

单叶光合速率用美国产 LI-6400 光合测定系统测定。叶片叶绿素含量用日本产 SPAD-502 叶绿素计测定。超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量测定参照文献方法进行^[18-19]。每个处理重复 3 次。

1.3 数据处理及统计

采用 Microsoft Excel 软件进行数据处理,用 SPSS13.0 软件进行数据统计分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 施氮处理对花生不同生育期功能叶叶绿素 SPAD 值和光合速率的影响

由表 1 和表 2 可以看出,两花生品种叶片(主茎倒 5 叶,下同)叶绿素含量和光合速率在花针期最高,之后持续降低,其中白沙 1016 品种在施氮 180 kg/hm²水平下降低幅度最大为 20.7%。各施氮处理均较不施氮处理的叶绿素含量和光合速率高,达到显著水平。白沙 1016 品种施氮在 45—135 kg/hm²范围内,随着施氮量的

增加叶片叶绿素含量和光合速率呈增加趋势,到 180 kg/hm²水平时反而下降,但降幅不明显。花育 17 则施氮在 45—180 kg/hm²范围内,同时期随着施氮量的增加叶片叶绿素含量和光合速率呈增加趋势,其中叶绿素在花针期、结荚期和饱果期最高增幅分别为 12.9%、8.4% 和 7.1%;光合速率增幅为 8.8%、10.1% 和 12.6%。说明增施氮肥可以提高花生叶片叶绿素含量和光合速率。品种间比较,同时期同一施氮处理花育 17 的叶绿素含量和光合速率明显高于白沙 1016,均达到显著水平。

表 1 施氮量对花生不同生育期功能叶叶绿素 SPAD 值的影响

Table 1 Effects of nitrogen fertilizer rate on chlorophyll content (SPAD) in function leaves of peanut at different growth stages				
品种 Cultivars	施氮量/(kg/hm ²)	花针期 Flowering stage	结荚期 Podding stage	饱果期 Maturing stage
白沙 1016 Baisha 1016	0	41.55d	40.28d	34.73d
	45	43.34c	41.23c	35.33c
	90	44.70b	42.64b	36.38ab
	135	45.71a	43.77a	36.67a
	180	45.55ab	43.46a	36.13b
花育 17 Huayu 17	0	45.17e	44.19d	40.90d
	45	47.72d	45.11c	41.92c
	90	48.88c	46.49b	42.58b
	135	49.92b	47.80a	43.58ab
	180	50.98a	47.92a	43.79a

注:同一列品种内不同小写字母表示 5% 水平下差异显著

表 2 施氮量对花生不同生育期功能叶净光合速率的影响

Table 2 Effects of nitrogen fertilizer rate on photosynthetic rate in function leaves of peanut at different growth stages /(μmol CO ₂ /(m ² ·s))				
品种 Cultivars	施氮量/(kg/hm ²)	花针期 Flowering stage	结荚期 Podding stage	饱果期 Maturing stage
白沙 1016 Baisha 1016	0	28.14c	23.77c	20.10b
	45	28.99b	24.33b	20.44b
	90	30.03a	24.84ab	21.49ab
	135	31.08a	25.11a	21.82a
	180	31.02a	24.75ab	21.57a
花育 17 Huayu 17	0	30.24d	25.15c	22.31d
	45	31.66c	25.63bc	23.79c
	90	32.17b	26.68b	24.28b
	135	32.78ab	27.32ab	24.95ab
	180	32.91a	27.70a	25.12a

注:同一列品种内不同小写字母表示 5% 水平下差异显著

2.2 不同施氮处理对花生功能叶超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性的影响

SOD 和 CAT 是植物酶保护系统中的关键酶。由表 3 和表 4 可以看出,两花生品种叶片 SOD 和 CAT 活性在花针期最高,之后持续降低,SOD 和 CAT 最大降幅分别为 20% 和 48.5%。处理间比较,两花生品种叶片 SOD 和 CAT 活性均随施氮量的增加而增加:花育 17 则施氮在 45—180 kg/hm²范围内,同时期随着施氮量的增加叶片 SOD 和 CAT 活性均呈增加趋势,达到显著水平;只是白沙 1016 施氮超过 135 kg/hm²后叶片 SOD 和 CAT 活性增加不显著。说明增施氮肥可以提高花生叶片活性氧清除能力,延缓植株衰老。品种间比较,同时期同一处理花育 17 的叶片 SOD 和 CAT 活性明显高于白沙 1016,均达到显著水平。

2.3 施氮处理对花生不同生育期功能叶丙二醛(MDA)含量的影响

MDA 为膜脂过氧化产物,其含量高低反映了细胞膜脂过氧化水平。由表 5 可以看出,随生育期的推进,花生功能叶中 MDA 含量逐渐增加,最高增幅为 5.14%。两花生品种叶片 MDA 含量均随施氮量的增加而降低,其中同一施氮处理白沙 1016 在花针期、结荚期和饱果期降幅分别为 26.6%、24.4% 和 20%;花育 17 降幅分别为 18.2%、15.0% 和 16.9%。说明增施氮肥可以降低花生叶片 MDA 含量,降低叶片膜脂过氧化水平,而延缓衰老。品种间比较,同时期同一处理花育 17 的叶片 MDA 含量明显低于白沙 1016,均达到显著水平。

表 3 施氮量对花生不同生育期功能叶 SOD 活性的影响/(units/(g·FW))

Table 3 Effects of nitrogen fertilizer rate on SOD activity in function leaves of peanut at different growing stage

品种 Cultivars	施氮量/(kg/hm ²)	花针期 Flowering stage	结荚期 Podding stage	饱果期 Maturing stage
白沙 1016 Baisha 1016	0	515.44c	455.29d	425.12d
	45	549.36b	486.99c	439.31c
	90	574.27ab	507.69b	472.37b
	135	581.31a	518.11ab	511.24a
	180	581.86a	520.17a	511.35a
花育 17 Huayu 17	0	531.48e	473.23e	506.22e
	45	579.66d	503.99d	529.10d
	90	594.21c	535.62c	544.39c
	135	609.22b	548.11b	558.42b
	180	619.68a	559.87a	564.33a

表 4 施氮量对花生不同生育期功能叶 CAT 活性的影响

Table 4 Effects of nitrogen fertilizer rate on CAT activity in function leaves of peanut at different growing stage/(H₂O₂mg/(g·min))

品种 Cultivars	施氮量/(kg/hm ²)	花针期 Flowering stage	结荚期 Podding stage	饱果期 Maturing stage
白沙 1016 Baisha 1016	0	41.17d	24.96d	21.22d
	45	43.53c	27.21c	23.57c
	90	45.61b	29.56b	26.08b
	135	47.37a	31.95a	30.22a
	180	47.59a	31.98a	30.31a
花育 17 Huayu 17	0	43.22e	27.23e	24.48e
	45	46.35d	30.48d	26.11d
	90	49.16c	33.63c	28.26c
	135	51.69b	36.99b	30.15b
	180	53.24a	38.06a	32.17a

表 5 施氮量对花生不同生育期功能叶 MDA 含量的影响

Table 5 Effects of nitrogen fertilizer rate on MDA content in function leaves of peanut at different growing stage/(μmol/(g·FW))

品种 Cultivars	施氮量/(kg/hm ²)	花针期 Flowering stage	结荚期 Podding stage	饱果期 Maturing stage
白沙 1016 Baisha 1016	0	24.02a	24.33a	26.2a
	45	23.07b	23.12b	24.12b
	90	21.69c	22.08c	23.09c
	135	20.35d	21.01d	22.04d
	180	19.66e	20.67e	21.78e
花育 17 Huayu 17	0	21.95a	22.41a	24.99a
	45	20.37b	20.53b	23.58b
	90	19.25c	19.44c	22.05c
	135	17.18d	17.98d	21.01d
	180	16.12e	16.95e	20.00e

2.4 不同施氮处理对花生产量及其构成因素的影响

由表 6 可以看出,增施氮肥对两花生品种产量及其构成因素的影响不同。珍珠豆型花生品种白沙 1016 有效荚果数随着施氮量的增加而增加,到施氮 90kg/hm²时达到最多,为 25.8 个/穴,以后再增加施氮量有效荚果数反而下降;千克果数随着施氮量的增加而降低,到施氮 90kg/hm²时达到最低,以后再增加施氮量千克果数反而增多;导致荚果产量随着施氮量的增加而增加,到施氮 90kg/hm²时达到最大,达到显著水平,以后再增加施氮量荚果产量反而下降。普通型花生品种花育 17 的有效荚果数随着施氮量的增加而增加,到施氮 135kg/hm²时达到最多,为 22.1 个/穴,以后再增加施氮量有效荚果数反而下降;千克果数随着施氮量的增加

而降低,到施氮 135kg/hm²后再增加施氮量千克果数不在增加;导致荚果产量随着施氮量的增加而增加,到施氮 135kg/hm²时达到最大,达到显著水平,以后再增加施氮量荚果产量反而下降。表明适当增施氮肥提高花生产量,主要是通过提高单株有效结果数和荚果饱满程度而实现的,并且两种类型花生品种获得最高荚果产量所需的施氮量不同,珍珠豆型花生品种白沙 1016 为 90kg/hm²,而普通型花生品种花育 17 为 135kg/hm²。此外,品种间比较,同一施氮处理花育 17 荚果产量明显高于白沙 1016,均达到显著水平。

表 6 施氮量对花生产量及其构成因素的影响
Table 6 Effects of nitrogen levels on pod yield and composite factors of the peanut yield

品种 Cultivars	施氮量 /(kg/hm ²)	有效果数/(个/穴) Valid pods	千克果数/(个/kg) Pods per kg	产量/(kg/hm ²) Seed yield
白沙 1016 Baisha 1016	0	21.4d	784a	4259e
	45	25.6a	780a	4556d
	90	25.8a	722c	4882a
	135	24.6b	730b	4830b
	180	22.8c	735b	4608c
花育 17 Huayu 17	0	19.4d	572a	4704e
	45	20.6c	540b	5097d
	90	21.9a	528c	5608c
	135	22.1a	504d	5971a
	180	21.3ab	504d	5748b

3 讨论

植物叶片衰老是一种程序性的细胞死亡,是叶片发育的最终阶段^[20-21],其最明显的外观标志是叶色由绿变黄、脱落。在农业生产中,叶片早衰会造成许多作物减产^[8-12]。同样,花生结荚后期叶片早衰脱落已成为了限制荚果充实和产量进一步提高的重要因素。花生叶片的衰老是多种因素综合作用的结果^[22],其中叶绿素降解和光合能力下降是叶片衰老的基本特征,还有活性氧代谢的失调,使花生叶片细胞膜结构受到破坏,是叶片衰老的主要原因之一。

始花期施氮可以延缓花生整株衰老进程,改善群体光合性能,提高叶片叶绿素含量和净光合速率,提高叶片 SOD、POD、CAT、NR 酶活性,降低叶片 MDA 积累量,延缓叶片及整株衰老,改善产量性状,提高荚果产量^[6]。本试验结果表明,两花生品种叶片叶绿素含量和光合速率、SOD 和 CAT 活性均随着施氮量的增加而增加,MDA 含量随施氮量的增加而降低,只是白沙 1016 品种在施氮超过 135kg/hm²后上述指标增加或降低不显著,说明增施氮肥可以延缓花生叶片的衰老。

花生的氮源有两条途径:一是土壤和肥料氮,二是根瘤菌固定大气中的氮。花生根瘤固氮与施用氮肥的关系比较复杂,当施用少量氮素化肥时会促进根瘤固氮,若施氮过多则会抑制根瘤固氮,造成氮肥浪费和污染环境^[1]。本试验结果表明,在一定施氮量范围内,两花生品种有效荚果数随着施氮量的增加而增加,千克果数随着施氮量的增加而降低,导致荚果产量随着施氮量的增加而增加(珍珠豆型花生品种白沙 1016 在施氮 0—90kg/hm²、普通型花生品种花育 17 在在施氮 0—135kg/hm²范围内),但是超过此范围后再增加施氮量反而导致有效荚果数下降、千克果数增多、荚果产量下降。

花生荚果干物质的来源,一是荚果形成后光合器官形成的光合产物,二是光合产物的再运转。如花生荚果中约有 60% 的氮是从营养器官中重新调运的,只有 40% 是荚果充实期同化的,花生在荚果成熟期间,营养器官内氮的可利用性是产量提高的主要限制因素之一^[1,6]。本试验中,增施氮肥能够延缓花生植株的衰老,但是施氮多的处理花生荚果产量并不是最高的,因此,如何协调花生衰老与产量的关系,包括花生生长发育过程中氮素代谢过程等,有待进一步研究。

有关不同作物品种间养分利用的遗传差异研究已取得一定的进展,并筛选出高养分利用的基因型^[23-25]。

研究发现,不论在不施氮或同一施氮处理下,同时期花育 17 的叶绿素含量和光合速率、SOD 和 CAT 活性明显高于白沙 1016,叶片 MDA 含量则明显低于白沙 1016,达到显著水平,说明了花育 17 的叶片衰老进程明显比白沙 1016 表现迟缓,有助于花生荚果的充实及产量的提高。同时,通过品种对比也表明了花育 17 对氮肥的响应程度较强,属于氮素高效基因型花生品种,而白沙 1016 耐瘠性较差。但是有关花育 17 高效利用氮肥机理有待进一步探讨。目前,在育种工作中,花生高氮利用效率尚未被引起广泛重视,国内缺乏对不同基因型花生品种耐低氮能力的筛选和评价。

References:

- [1] Ball S T, Wynne J C, Elkan G H, Schneeweis T J. Effect of inoculation and applied nitrogen on yield, growth and nitrogen fixation of two peanut cultivars. *Field Crops Research*, 1983, 6: 85-91.
- [2] Li X D, Wan Y S, Yu Z W, Chen Y H, Zhang G Y. Changes in nitrogen metabolism indices of *Arachis Hypogaea* leaves during leaf senescence. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(5): 549-552.
- [3] Siri-Prieto G, Reeves D W, Raper R L. Tillage systems for a cotton peanut rotation with winter-annual grazing: Impacts on soil carbon, nitrogen and physical properties. *Soil and Tillage Research*, 2007, 96(1/2): 260-268.
- [4] Wang C B, Sun Y H, Yao J P, Liang Y Y, Tao S X, Chi Y C. Study on effect of nitrogen application on high yield peanut I. Physiological parameters of population. *Peanut Science and Technology*, 1994, 1: 1-4.
- [5] Basu M, Bhadoria P B S, Mahapatra S C. Growth, nitrogen fixation, yield and kernel quality of peanut in response to lime, organic and inorganic fertilizer levels. *Bioresource Technology*, 2008, 99(11): 4675-4683.
- [6] Li X D, Wang X Y, Zhang G Y, Wan Y S, Li J. The regulation of nitrogen for peanut senescence. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(5): 1-7.
- [7] Zhang X, Jiao Y, Sun C H. Influence of different fertilization treatment on yield and quality of peanut. *Soils and Fertilizers*, 2003, 2: 30-32.
- [8] Wang X Y, Li X D, Zhou Q. Regulation effects of nitrogen application on the polyamine metabolism and senescence of peanut leaves. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(4): 442-446.
- [9] Gao X L, Gao J F, Feng B L, Cai Y, Jia Z K. Leaf senescence of different mung bean varieties during their late growth. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(5): 947-953.
- [10] Li S K, Chen T R, Xiao L, Huang W H, Zuo W P, Zhang W F, Wang C Y. Effect of drought stress on growth and lint yield of cotton at different growing stages I. the causes analysis of cotton yield reducing under drought stress. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 1999, 3(3): 178-182.
- [11] Wang X J, Xu Q G, Yang Z J. Advances of research on rice leaf senescence physiology. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(3): 187-191.
- [12] Zhao C X, Ma D H, Wang Y F, Lin Q. Effects of nitrogen application rate and post-anthesis soil moisture content on the flag leaf senescence and kernel weight of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2388-2393.
- [13] Yang S S, Gao J F, Li X J, Lu J Y, Gao M. Leaf senescence and protective enzyme system of spring wheat hybrid. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(3): 460-463.
- [14] Feng B L, Gao X L, Wang C F, Zhang S W, Li S X. Leaf senescence and active oxygen metabolism of different-type wheats under drought. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(4): 74-76.
- [15] Duan J, Liang C Y, Huang Y W. Studies on leaf senescence of hybrid rice at flowering and grain formation stage. *Acta Photophysiological Sinica*, 1997, 23(2): 139-144.
- [16] Liu L T, Li C D, Sun H C, Jia L. Advances of research on cotton leaf senescence physiology. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(7): 316-321.
- [17] Li L L, Fang W P, Xie D Y, Ma Z B, Du Y F, Zhang D L. Study on the senescence characteristic in leaves of different cotton cultivars. *Cotton Science*, 2007, 19(4): 279-285.
- [18] Wang A G, Luo G H, Shao C B, Wu S J, Guo J Y. A study on the superoxide dismutase of soybean seeds. *Acta Photophysiological Sinica*, 1983, 9(1): 77-84.
- [19] Lin Z F, Li S S, Lin G Z, Sun G C, Guo J Y. Superoxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves. *Acta Botanica Sinica*, 1984, 26(6): 605-615.
- [20] Tadahiko M. Leaf senescence and nitrogen metabolism//Nooden LD. *Plant Cell Death Processes*. California: Academic Press, 2004: 157-168.

- [21] Yoshida S. Molecular regulation of leaf senescence. *Current Opinion in Plant Biology*, 2003, 6(1): 79-84.
- [22] Zheng S Q, Zeng G W. Senescence of plant leaf and the molecular approach for its delaying. *Plant Physiology Communications*, 1999, (2): 152-157.
- [23] Cao M J, Yi Y, Dong Z C, Sun G C, Guo J Y. Screening and evaluation on maize inbred lines with tolerance to low-phosphorus stress. *Maize Sciences*, 2000, 8(4): 64-69.
- [24] Wan M L, Kuang Y H. Studies on screening for low-phosphorus-tolerating genotypes and some relative physiological traits of sugarcane. *Journal of South China Agricultural University*, 1999, 20 (1): 45-50.
- [25] Xie Y, Dai L J, Xu S H, Wang X. Advances on potassium nutrition of different genotypes in crop and mechanisms. *Crop Research*, 2008, 22 (5): 315-318.

参考文献:

- [2] 李向东, 万勇善, 于振文, 陈雨海, 张高英. 花生叶片衰老过程中氮素代谢指标变化. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 549-552.
- [4] 王才斌, 孙彦浩, 姚君平, 陈雨海, 张高英. 高产花生施氮效应研究 I. 群体生理参数. *花生科技*, 1994, 1: 1-4.
- [6] 李向东, 王晓云, 张高英, 万勇善, 李军. 花生衰老的氮素调控. *中国农业科学*, 2000, 33(5): 1-7.
- [7] 张翔, 焦有, 孙春河. 不同施肥结构对花生产量和品质的影响. *土壤肥料*, 2003, 2: 30-32.
- [8] 王晓云, 李向东, 邹琦. 施氮对花生叶片多胺代谢及衰老的调控作用. *作物学报*, 2001, 27(4): 442-446.
- [9] 高小丽, 高金峰, 冯佰利, 柴岩, 贾志宽. 不同绿豆品种生育后期叶片衰老的研究. *西北植物学报*, 2007, 27(5): 947-953.
- [10] 李少昆, 陈大茹, 肖璐, 黄文华, 左文平, 张旺峰, 汪朝阳. 不同时期干旱胁迫对棉花生长和产量的影响 I. 棉花受旱减产原因分析. *石河子大学学报(自然科学版)*, 1999, 3(3): 178-182.
- [11] 王旭军, 徐庆国, 杨知建. 水稻叶片衰老生理的研究进展. *中国农学通报*, 2005, 21(3): 187-191.
- [12] 赵长星, 马东辉, 王月福, 林琪. 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶衰老及粒重的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(11): 2388-2393.
- [13] 杨淑慎, 高俊凤, 李学俊, 吕金印, 高梅. 杂交春性小麦叶片衰老与保护酶系统活性的研究. *中国农业科学*, 2004, 37(3): 460-463.
- [14] 冯佰利, 高小丽, 王长发, 张嵩午, 李生秀. 干旱条件下不同温型小麦叶片衰老与活性氧代谢特性的研究. *中国生态农业学报*, 2005, 13 (4): 74-76.
- [15] 段俊, 梁承邳, 黄毓文. 杂交水稻开花结实期间叶片衰老. *植物生理学报*, 1997, 23(2): 139-144.
- [16] 刘连涛, 李存东, 孙红春, 贾蕾. 棉花叶片衰老生理研究进展. *中国农学通报*, 2006, 22 (7): 316-321.
- [17] 李伶俐, 房卫平, 谢德意, 马宗斌, 杜远仿, 张东林. 不同熟性棉花品种叶片衰老特性研究. *棉花学报*, 2007, 19(4): 279-285.
- [18] 王爱国, 罗广华, 邵从本, 吴淑君, 郭俊彦. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究. *植物生理学报*, 1983, 9(1): 77-84.
- [19] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 孙谷畴, 郭俊彦. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系. *植物学报*, 1984, 26(6): 605-615.
- [22] 郑少清, 曾广文. 植物叶片衰老及其延缓的分子途径. *植物生理学通讯*, 1999, (2): 152-157.
- [23] 曹敏建, 衣莹, 佟占昌, 宫国安. 耐低氮胁迫玉米的筛选与评价. *玉米科学*, 2000, 8(4): 64-69.
- [24] 万美亮, 邝炎华. 甘蔗耐低磷基因型的筛选及其部分生理特征的研究. *华南农业大学学报*, 1999, 20 (1): 45-50.
- [25] 谢友, 戴林建, 徐双红, 王翔. 作物不同基因型钾营养及其机理研究进展. *作物研究*, 2008, 22(5): 315-318.