

喷施氯化钾对油菜植株硝酸盐含量及氮素分配的影响

董春华^{1,2}, 刘 强¹, 文石林², 荣湘民¹, 宋海星¹, 张玉平¹, 高菊生², 刘 俊³

(¹湖南农业大学资源环境学院, 湖南长沙 410128; ²中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 祁阳农田生态系统国家野外试验站, 湖南祁阳 426182; ³南华大学药学与生命科学学院, 湖南衡阳 421001)

摘要:研究了茎叶喷施质量分数为1%的氯化钾溶液对油菜角果初期和收获期植株硝酸盐含量及植株氮素分配的影响,以探求叶面施肥对作物生理生产的效果。笔者采用了土培试验,以喷施质量分数为1.17%的硫酸钾溶液(要求氯化钾和硫酸钾溶液中钾离子的物质的量浓度相同)和清水作相比较,在开花后期开始喷施,每两天喷洒一次,连续喷洒15天,喷洒部位在茎和叶,重点喷洒叶的背面,尽量不喷洒至叶柄,于角果初期和收获期采样。结果表明,喷施氯化钾溶液能有效降低开花期和收获期油菜茎叶硝酸盐含量,与喷施硫酸钾溶液和清水相比达到了显著水平;有效促进了氮素向角果和籽粒分配,显著增强了油菜角果初期叶片硝酸还原酶的活性。其中,与喷施清水相比,角果初期和收获期油菜叶片硝酸盐含量最高分别降低39.4%、75.2%,茎最高分别降低36.2%、60.6%;角果初期和收获期油菜叶片全氮量最高分别降低11.6%、2.7%,角果和籽粒最高分别升高8.59%、5.81%。

关键词:油菜;喷施氯化钾;硝酸盐;氮素分配

中图分类号:S565.4;S143.1

文献标识码:A

论文编号:2009-1656

The Effect of Spraying KCL Solution on Nitrate Content and Nitrogen Distribution of Oilseed rape (*Brassica napus* L.)

Dong Chunhua^{1,2}, Liu Qiang¹, Wen Shilin², Rong Xiangmin¹, Song Haixing¹,
Zhang Yuping¹, Gao Jusheng², Liu Jun³

(¹College of Resource and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;

²Institute of Agricultural Resources and Regional Planning CAAS,

Qiyang Agro-ecosystem of National Field Experimental Station, Qiyang Hunan 426182;

³College of Life Science and Medicine, Nanhua University, Hengyang Hunan 421001)

Abstract: The effects of spraying 1% KCl solution on nitrate content and nitrogen distribution of oilseed rape in initial siliquing stage and harvesting stage, which were studied by using soil cultural experiment for studying the effect of foliage spray. Controlled by spraying 1.17% K₂SO₄ solution (potassium chloride and potassium sulfate solution requirements in the same concentration of potassium) and water, the stems and leaves were sprayed, focus on the back of leaves, try not to spray on petioles, sampling in initial siliquing stage and harvesting stage, spraying KCL solution every other day for 15 days start from late flowering. Results showed that nitrate content in leaves and stems were markedly reduced, nitrogen redistributed to silique and rapeseed were efficiently promoted, nitrate reductase activity in the leaf were markedly increased. Compared with spraying water, nitrate content were reduced up to 39.4% and 75.2% respectively in initial siliquing stage and harvesting stage

基金项目:国家自然科学基金(30671206);湖南省自然科学基金(07JJ3074)。

第一作者简介:董春华,男,1976年出生,湖南祁阳人,助理研究员,硕士,研究方向:土壤改良与植物营养。E-mail:dch1001@126.com。

通讯作者:文石林,男,1964年出生,湖南宁乡人,副研究员,主要从事土壤改良与植物营养研究。通信地址:426182 湖南省祁阳县文富市中国农业科学院红壤实验站, E-mail:shilinwen@tom.com。

收稿日期:2009-08-13,修回日期:2009-09-11。

in leaves, reduced up to 36.2% and 60.6% respectively in stems, total nitrogen were reduced up to 11.6% and 2.7% respectively in initial siliquing stage and harvesting stage in leaves, raised up to 8.59% and 5.81% respectively in silique and rapeseed.

Key words: oilseed rape (*Brassica napus* L.), spraying KCl solution, nitrate content, nitrogen distribution.

0 引言

通过喷施氯化钾溶液后,对油菜植株不同生育期硝酸盐含量及其他生理生产指标变化进行分析,以期寻求新的有效施肥途径,同时也为其他农业产品硝酸盐含量的降低和品质的改变提供施肥措施和依据。高含量的硝酸盐不仅严重影响农产品品质性状,特别是中国加入 WTO 后,蔬类和果类产品中高含量的硝酸盐更是影响这些产品出口的主要限制因子之一。植物叶片细胞中的硝酸根离子分布在活度高低明显不同的两个区间内,即细胞质区间和液泡区间,业已证明,液泡是硝酸盐累积的主要场所^[1],而且液泡中硝酸盐浓度远高于细胞质^[2],细胞质中的硝酸根离子浓度范围是 0.24~10 mol/m³,液泡中的范围是 20~110 mol/m³^[3],而且细胞质中硝酸盐浓度基本稳定在几个 mol/m³,变化幅度很小^[4]。由此可知,植物体内的硝酸盐含量变化主要取决于液泡中硝酸盐浓度的变化。因此,如何调动植物液泡中的硝酸盐,使之得到更高层次的再利用,这对于降低植物体内硝酸盐含量和促进植物体内氮素向后期生长中心分配来说具有重要意义^[5]。而且从植物体本身着手研究植物氮素分配的方向和氮素高效利用的机理与途径,也是近几年来植物氮素营养研究的热点之一。

与作物细胞膜上的硝酸盐蛋白不同,植物液泡膜上的硝酸盐运输蛋白主要是硝酸盐诱导性运输蛋白。McClure 等^[6]和 Ni 等^[7]在玉米根的液泡膜和内质网上分离到硝酸盐诱导蛋白。Pope 等^[8]发现所分离得到的液泡膜囊体有很大的阴离子传导率,说明液泡膜上存在着活跃的硝酸盐运输系统,这个运输系统可能就是与储存在液泡中的硝酸根离子活化有关的阴离子通道,利用膜片钳技术也检测到了分离的液泡膜上离子通道的活性^[9]。这就说明液泡中的硝酸根离子在一定条件下是可以被控制进出液泡的,因而硝酸根离子在一定条件下也就可以被再利用,氮素也就可以进行重新分配^[10]。目前此领域研究者极少,宋海星等^[11-12]研究证实,在喷施氯化钾且不作为钾营养发挥作用的前提下,明显降低了小白菜体内硝酸盐含量,为上述理论提

供了有力佐证。但是喷施氯化钾溶液是否会促进植物氮素进一步向后期生长中心分配和是否会提高氮素的利用效率还缺乏直接的试验证据。因此,笔者以油菜为试验材料,进一步探讨氯离子对植物体内硝酸盐累积的影响,以期降低油菜硝酸盐含量促进硝态氮再利用和油菜体内氮素再分配利用及提高油菜生产品质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试油菜品种由国家油料作物改良研究中心湖南分中心提供,分别为:P-517、杂 753、HR。供试肥料为:氮肥用尿素(N%=46%),磷肥用钙镁磷肥(P₂O₅%=12%),钾肥用加拿大产的氯化钾(K₂O%=60%)。

1.2 试验设计及管理

试验于 2007 年 9 月—2008 年 5 月在湖南农业大学农业资源与环境专业实习基地玻璃房进行,采用土培,土壤为湖南农业大学农业资源与环境专业实习基地菜园土。选用 20 cm×30 cm 白瓷质培养钵,内装过 1 cm 筛的风干土 6.25 kg,根据土壤肥力(表 1)状况,氮、磷、钾肥施用量分别为:0.2 g N/kg 土、0.1 g P₂O₅/kg 土、0.1 g K₂O/kg 土(足量),均作基肥一次性施入;设 3 个品种,即品种 P-517、杂 753、HR,3 个因子,即喷洒氯化钾溶液、硫酸钾溶液和清水,共 9 个处理,8 次重复,随机区组排列。在盛花期开始喷洒,隔日 1 次,连续喷洒 15 天,每次喷洒浓度:一组喷洒质量分数为 1%的氯化钾溶液,以一组喷洒质量分数为 1.17%的硫酸钾溶液和另组喷洒清水作为对照,傍晚 18:00 喷洒。采用质量分数为 1%的氯化钾溶液是为了置换出液泡中的硝酸根离子而又不对油菜造成毒害,这个浓度是湖南农业大学资环学院的宋海星教授通过长期试验摸索得到的,要求氯化钾和硫酸钾溶液的浓度分别为 1%和 1.17%,是为了使氯化钾和硫酸钾溶液中钾离子的物质的量浓度相同,以消除钾离子的营养作用。要求每盆移栽大小及生长状况基本一致的油菜幼苗 1 株,于角果初期与收获期取样,每次采 4 个重复样。其他按常规管理进行。

表 1 供试土壤的基本理化性状

OM/(g/kg)	pH(H ₂ O)	全氮/(g/kg)	速效氮/(mg/kg)	全磷/(g/kg)	速效磷/(mg/kg)	全钾/(g/kg)	速效钾/(mg/kg)
29.06	6.80	1.45	111.28	0.74	32.08	19.93	90.60

1.3 取样方法及测定项目

1.3.1 取样方法

(1)开花期: 采样前一天傍晚浇足量水, 第二天早上 9:00—10:00 采全株样, 洗干擦净, 取中间节位生长健壮叶片沿中脉剪开, 取其中半边叶用于打孔取叶测定硝酸还原酶活性, 另半边叶在 105 °C 的烘箱中杀青 30 min, 然后在 80 °C 烘干至恒重, 测定水分系数并计算出被打取部分的干重。其余的按器官分装, 烘干(处理同上)待测。

(2)收获期: 早上 6:00~7:00 采全株样, 按器官分装, 烘干, 制样待测。

1.3.2 测定项目 干样用 1% 电子天平称重; 叶片和茎硝酸盐含量水杨酸-硫酸测定法^[13]; 叶片硝酸还原酶活性采用活体法^[13]; 全氮的测定用常规农化分析法^[14]; 喷施

氯化钾溶液和硫酸钾溶液后油菜硝酸盐含量的降低百分数=(喷水对照处理后硝酸盐含量-喷氯化钾和硫酸钾处理后硝酸盐含量)/喷水处理硝酸盐含量。

2 结果与分析

2.1 喷施氯化钾溶液对油菜叶片硝酸还原酶活性的影响

喷施氯化钾溶液能显著提高油菜角果初期叶片硝酸还原酶活性(表 2)。测定结果表明, 与喷施清水相比, 喷施氯化钾溶液对 P-517、杂 753、HR 品种油菜植株叶片硝酸还原酶活性增强百分率分别为 16.1%、43.5%、21.0%, 对杂 753 品种效果最佳。喷施硫酸钾溶液虽有效果, 但与喷施清水处理相比差异很小, 这是因为硫酸根离子与氯离子相比, 与硝酸根离子基本不起置换作用, 同时也说明油菜叶片硝酸还原酶活性与置换出的液泡中硝酸根离子有关。

表 2 不同处理下油菜角果初期叶片硝酸还原酶(NR)活性 (μgNO₂ / (g·h))

试验处理	P-517	杂 753	HR
氯化钾	6.13±1.09a	7.52±1.05a	9.46±1.88a
硫酸钾	5.32±0.94b	5.32±0.92b	7.81±1.61b
清水	5.28±0.92b	5.24±0.89b	7.82±1.58b

注: 多重比较采用 Duncan 氏新复极差法, 同一列字母相同者, 表示在 P<5% 水平上差异不显著。

表 3 不同处理下油菜角果初期叶和茎硝酸盐含量 (mg/kg)

测定器官	试验处理	P-517	杂 753	HR
叶	氯化钾	33.04b	30.40b	26.59b
	硫酸钾	53.43a	39.40a	32.29a
	清水	54.48a	40.16a	33.03a
茎	氯化钾	51.73b	59.54b	41.58b
	硫酸钾	63.75a	89.31a	50.38a
	清水	64.48a	90.29a	50.84a

注: 多重比较采用 Duncan 氏新复极差法, 同一列字母相同者, 表示在 P<5% 水平上差异不显著。

2.2 喷施氯化钾溶液对油菜茎叶硝酸盐含量的影响

2.2.1 角果初期茎叶硝酸盐含量 喷施氯化钾溶液可有效降低角果初期油菜叶茎硝酸盐含量(表 3), 与喷施硫酸钾溶液和清水相比, 差异显著。与喷施清水相比, 喷施氯化钾溶液使品种 P-517、杂 753、HR 叶片硝酸盐含量分别降低 39.4%、24.3%、19.5%, 茎硝酸盐含量分别降低 19.8%、36.2%、18.2%。喷施清水与喷施氯化钾溶液处理下的油菜茎叶硝酸盐含量差异不显著。

试验还表明, 茎硝酸盐含量比叶高, 这可能是叶片富含叶绿素, 在光合作用中能形成大量辅酶 I 和辅酶 II, 同时茎内硝酸还原酶比叶的相对要低, 从而加快了硝酸盐及亚硝酸盐还原, 也不排除是氯化钾溶液对油菜叶片硝酸盐含量降低效果大于茎的原因。

2.2.2 收获期茎叶硝酸盐含量 与角果初期相比, 收获期油菜茎叶硝酸盐含量出现了持续的降低, 与喷施硫酸钾和清水相比, 喷施氯化钾溶液能显著降低油菜收获期茎叶硝酸盐含量, 硫酸钾溶液和清水处理间差异不显著(表 4)。与喷施清水相比, 喷施氯化钾溶液使 P-517、杂 753、HR 叶片硝酸盐含量分别降低 56.8%、75.2%、52.2%, 茎硝酸盐含量分别降低 15.0%、46.4%、60.6%。

2.2.3 硝酸盐含量变化分析 表 3 和表 4 分析结果表明, 喷施氯化钾溶液导致油菜茎叶硝酸盐含量发生显著变化, 而且随着生长发育的进程, 其效果越来越明显, 而喷施硫酸钾溶液则没有此效果明显, 由此可以看出, 氯离子能够置换出液泡中 NO₃⁻ 并重新加以利用, 从而降低油菜植株茎叶硝酸盐含量。

表4 不同处理下油菜收获期叶和茎硝酸盐含量

(mg/kg)

测定器官	试验处理	P-517	杂753	HR
叶	氯化钾	83.43b	67.59b	49.92b
	硫酸钾	191.34a	270.87a	103.14a
	清水	193.28a	272.50a	104.49a
茎	氯化钾	61.79b	30.38b	29.92b
	硫酸钾	71.63a	56.31a	72.93a
	清水	72.71a	56.73a	73.73a

注:多重比较采用Duncan氏新复极差法,同一列字母相同者,表示在 $P<5\%$ 水平上差异不显著。

出于生产实践的需要,人们对作物可用部分硝酸盐含量的测定以及水肥等外部条件对其的影响研究较为深入^[15-16],而对硝酸盐累积利用的生理机制却研究不多,因而无法从作物本身着手调控和充分利用其体内的硝酸盐。硝酸盐为何会在体内滞留,即能在植物中累积起来。根据众多的研究结果分析,硝酸还原酶活性低、光合产物不足、细胞内硝酸盐和硝酸还原酶的区域分异以及液泡硝酸盐充当渗透调节物质,是其主要生理原因^[17-19]。但是,调节以上生理过程,能否有效降低作物硝酸盐含量,还缺乏进一步的试验证据。笔者通过喷施氯化钾溶液且不作为钾营养发挥作用的条件下,明显降低了油菜茎叶硝酸盐含量,为氯离子作为无机渗透压物质替代液泡硝酸根离子的理论推测进一步提供了佐证,也为促使作物硝酸盐的再利用提供了途径,为作物体内氮素的再分配提供了研究基础。

2.3 喷施氯化钾对油菜植株氮素(氮素指全氮,下同)分配的影响

2.3.1 油菜角果初期植株氮素的分配 图1是喷施氯化钾溶液后油菜角果初期植株氮素分配的比较图。从图中可以得到:处理后的各油菜品种中,喷施氯化钾溶液后叶的氮素分配率要明显低于喷施硫酸钾溶液和清水

的处理,而角果的氮素分配率要明显高于喷施硫酸钾溶液和清水的处理,喷施氯化钾溶液后,P-517、杂753、HR叶片中的含氮百分比分别为22.73%、19.76%、21.04%,喷施清水的分别为34.33%、31.35%、31.02,分别降低了11.60%、11.59%、9.86%;喷施氯化钾溶液后,角果中含氮量分别为52.18%、58.39%、52.71%,喷施清水的分别为44.20%、49.80%、44.14%,分别升高了7.98%、8.59%、8.57%;硫酸钾溶液处理后,叶片和角果中的含氮量和喷施清水处理的差不多,两者的结果没有什么明显差别。从表中还可以得到,无论是哪一个品种,喷施硫酸钾溶液后叶、角果的氮素分配率和喷施清水处理的氮素分配率非常地接近,差异不明显,这也表明了喷施了硫酸钾的叶片中的硝酸盐转移到角果的效果不理想,同时也说明了氯离子比硫酸根离子能够更多地把液泡中的硝酸根离子置换出来,使硝酸根离子转移再利用,使处理后叶片中的硝酸盐跟多地转移到角果,促使氮素更多地分布到后期的生长中心,从而增加籽粒氮素的分配比率,从而最终影响氮素在油菜体内的再度分配。这也说明细胞液泡中硝酸盐的调动和再利用程度影响着植物氮素的下一步分配方向和分配程度。

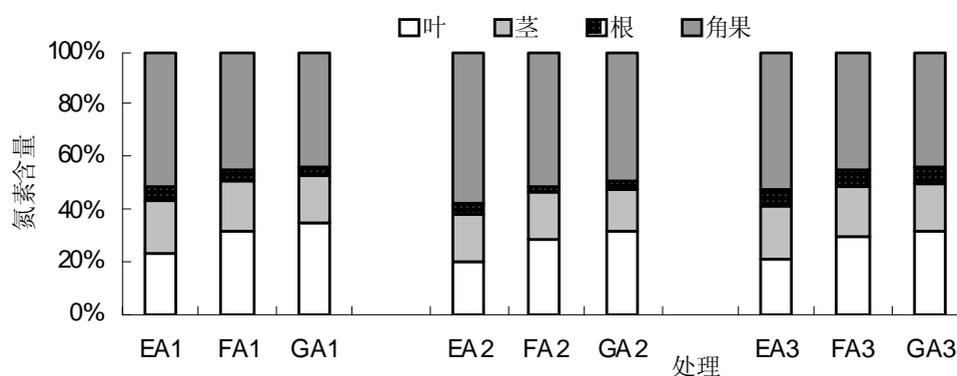


图1 不同处理下油菜角果初期氮素分配

注: E、F、G 分别表示: 喷施 KCl、K₂SO₄、清水。

叶片是最重要的再分配氮素库,无论哪一生育期吸收的氮素无一例外是收获期籽粒氮素的重要来源,

其实叶片中累积的氮素不仅是籽粒中氮素的主要来源,在未形成籽粒以前也是植物体生长过程中其他器

官氮素的来源,如笔者在试验中检测到的角果初期叶和角果氮素的分配,这些现象为以上观点提供了有力的佐证。但是到植株生长后期随着植物体的衰老,叶片及其他营养器官中的氮素一起转运再分配到籽粒。

2.3.2 油菜收获期植株氮素的分配 图2是喷施氯化钾溶液后油菜收获期氮素分配的影响图。它进一步说明了叶等器官的氮素和籽粒氮素的相关性,喷施氯化钾溶液后叶的氮素分配率要低于喷施硫酸钾溶液和清水的处理,籽粒的氮素分配率要高于喷施硫酸钾溶液和清水的处理,喷施氯化钾溶液后,P-517、杂753、HR叶片中的含氮百分比分别为17.14%、15.55%、16.57%,喷

施清水的分别为19.30%、18.22%、18.90%,分别降低了2.16%、2.67%、2.33%;喷施氯化钾溶液后,籽粒中含氮量分别为59.65%、63.82%、59.62%,喷施清水的分别为56.69%、58.01%、56.70%,分别升高了2.96%、5.81%、3.55%;硫酸钾溶液处理后,叶片和角果中的含氮量和喷施清水处理的差不多,两者的结果没有什么明显差别。随着生育期的进程,叶片中分配的氮素比例大幅度减少,茎(茎中分配的氮素比例开花期以后开始减少)和根中分配的氮素比例也有不同程度地减少,同时角果及籽粒中分配的氮素比例明显增加,叶片中的氮素始终是再分配于籽粒中的氮素的主要来源。

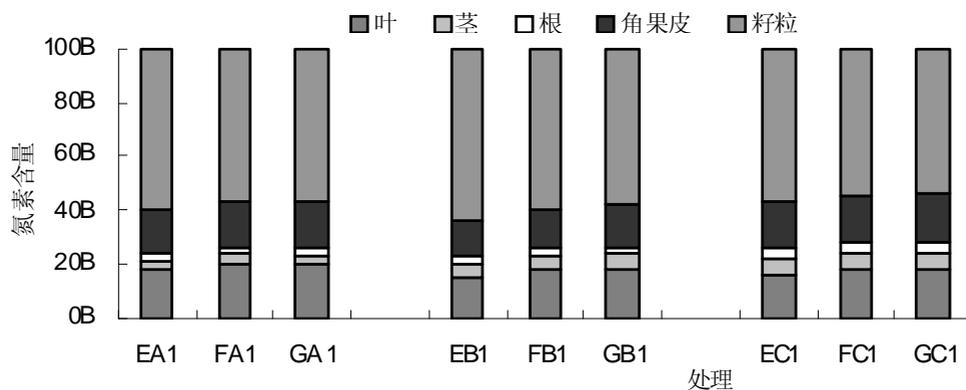


图2 不同处理下油菜收获期氮素分配

注: E、F、G 分别表示: 喷施 KCl、K₂SO₄、清水。

试验过程中,喷施氯化钾溶液就是为了更多地把硝态氮置换出来,更多地让其转移到籽粒当中去,但同时因此也引起了油菜一系列的生理变化。因此充分利用和调动叶片等器官的氮源,改善植株生理,并进一步加强与籽粒氮素的相关性,对生产实践来说,有着更重要的意义。

3 结论

(1) 喷施氯化钾溶液能增强油菜叶片硝酸还原酶活性。

(2) 土壤供钾充足条件下叶面喷施质量分数为1%氯化钾溶液可显著降低角果初期和收获期油菜叶茎硝酸盐含量,而且其最终的结果是促进硝态氮的再利用,从而影响了氮素的下一步分配。

(3) 喷施氯化钾溶液能够促使硝态氮进一步向后期生长中心转移,能提高角果初期角果和收获期籽粒的氮素分配比率。

(4) 通过分析硝酸盐含量、氮素分配的变化,并联系油菜籽粒品质的变化,有望开辟新的施肥途径。

参考文献

[1] 贾莉君,范晓荣,尹晓明,等. 双阻离子选择性微电极测定活体不结

球小白菜叶片中硝酸根离子的活度[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 447-452.

[2] Miller A J, Smith S J. The mechanism of nitrate transport across the tonoplast of barley root cells[J]. *Planta*, 1992, 187:554-557.

[3] Zhen R G, Koyro H W, Leigh R A, et al. Compartmental nitrate concentrations in barley root cells measured with nitrate-selective microelectrodes and by single-cell sap sampling[J]. *Planta*, 1991, 185: 356-361.

[4] 沈其荣,汤利,徐阳春. 植物液泡中硝酸盐行为的研究概况[J]. 土壤学报, 2003, 40(3):465-470.

[5] 张振华,宋海星,刘强,等. 油菜生长后期有机氮再利用关键酶活性的变化动态[J]. 西北农业学报, 2007, 16(5):92-95,104.

[6] McClure P R, Omholt T E, Pace G M, et al. Nitrate-induced changes in protein synthesis and translation of RNA in maize roots[J]. *Plant Physiol*, 1987, 84:52-57.

[7] Ni M, Beevers L. Nitrate-induced polypeptides in membranes from corn seedling roots[J]. *J Exp. Bot*, 1994, 45:355-365.

[8] Pope A J, Kigh R A. Some characteristics of anion transport at the tonoplast of oat roots, determined from the effects of anions on pyrophosphate-dependent proton pumping [J]. *Planta*, 1987, 172:91-100.

[9] Forde B G. Nitrate transporters in plants: Structure, function and regulation [J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2000, 1465:219-235.

[10] 董春华,荣湘民,宋海星,等. 喷施氯化钾对油菜体内氮素分配的影

- 响[J].西北农业学报,2009,2(18):108-111,117.
- [11] 宋海星,李五三,欧阳中浩,等.小白菜体内硝酸盐累积的生理调控初探[J].西北农业学报,2006,15(2):134-137.
- [12] 刘浩荣,宋海星,刘强,等.喷施氯化钾对小白菜体内硝酸盐累积的影响[J].土壤,2008,40(2):222-225.
- [13] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995:27-33.
- [14] 鲍士旦主编.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:267.
- [15] 李会合,王正银,李宝珍.蔬菜营养与硝酸盐的关系[J].应用生态学报,2004,15(9):1667-1672.
- [16] 王朝辉,李生秀,田霄鸿.不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):22-28.
- [17] 熊国华,林咸永,章永松,等.环境因素对蔬菜累积硝酸盐影响的研究进展[J].土壤通报,2004,35(3):362-365.
- [18] Mccall D, Willumsen J. Effects of nitrogen availability and supplementary light on the nitrate content of soil-grown lettuce [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 1999, 74(4):458-463.
- [19] Matt P, Schurr U, Krapp A, et al. Growth of tobacco in short day conditions leads to high starch, low sugars, altered diurnal changes of the Nia transcript and low nitrate reductase activity, and an inhibition of amino acid synthesis[J]. Planta, 1998, 207:27-41.