

625-528
氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究***任祖淦 邱孝煊**

(福建省农业科学院土壤肥料研究所 福州 350013)

蔡元呈 李贞合

(福建省农业厅植保植检站 福州 350003)

王琳

(福州市蔬菜产销办公室 福州 350001)

摘要 蔬菜是一种容易富集硝酸盐的作物,人体摄入的硝酸盐有 81.2% 来自蔬菜,而硝酸盐是强致癌物——亚硝胺的前体物。硝酸盐在一定条件下可转变为亚硝酸盐,对人体有直接破坏血红蛋白中的 Fe^{2+} 等危害。为获高产,不合理地超量施用化学氮肥,使得蔬菜硝酸盐积累量剧增,品质退化。研究表明,筛选出氯化铵、硫酸铵两种氮肥品种,氮素施用量以 $300\text{kg}/\text{hm}^2$ 为临界值;氮肥施用安全始期以施氮后 8d 为宜;化学氮肥与有机肥料的厩肥、土杂肥配合施用,能有效控制和降低蔬菜硝酸盐的积累,减轻对人体健康危害,并提高蔬菜品质和出口创汇价值。

关键词: 蔬菜,化学氮肥,硝酸盐,积累。

STUDIES ON CORRELATION BETWEEN VEGETABLE NITRATE ACCUMULATION AND FERTILIZER APPLICATION

Ren Zugan Qiu Xiaoxuan

(Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, 350013, China)

Cai Yuancheng Li Zhenghe

(Plant Protection and Quarantine Station, Fujian Provincial Agricultural Bureau, Fuzhou, 350003, China)

Wang Lin

(Vegetable Marketing Office of Fuzhou City, Fuzhou, 350001, China)

Abstract Vegetable is the crop which can easily enrich nitrate. In order to obtain a high yield of vegetable, farmers now excessively apply chemical nitrogenous fertilizer, thus resulting in a drastic increase in nitrate accumulation and vegetable quality deteriorated. In our study two kinds of fertilizers, ammonium chloride NH_4Cl and ammonium sulphate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ were selected for correlation. It was proposed to apply N. fertilizer at a dose of $300\text{kg}/\text{hm}^2$ as critical proper level to set a safe initial period—adequately 8 days after application, and to incorporate chemical fertilizer with yard manure. These measures should be able to control and decrease the nitrate accumulation in vegetable so that the potential harm to human health be reduced and the quality of vegetable be raised.

* 福建省自然科学基金资助项目。

收稿日期:1996-04-14,修改稿收到日期:1997-11-12。

Key words: vegetable, chemical nitrogenous fertilizer, nitrate, accumulation.

蔬菜是一种容易富集硝酸盐的作物。早在1907年Richardson^[1]就发现蔬菜含有大量硝酸盐。1943年Wilson^[2]指出蔬菜的硝酸盐可以还原成亚硝酸盐。人体摄入的硝酸盐有81.2%来自蔬菜^[2]。1956年Magee等人用二甲基亚硝胺诱发出大鼠肝癌,而后Heath等人进一步证实亚硝酸胺是当前国内外医学公认的强致癌物质之一,而硝酸盐是亚硝酸的前体物^[3]。硝酸盐在一定条件下可转变为亚硝酸盐,对人体产生直接危害,破坏血红蛋白中的Fe²⁺等。

1973年世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)^[4]制订了食品中硝酸盐的限量标准,以ADI值为基础,提出蔬菜可食部分中硝酸盐含量的卫生标准为432mg/kg(鲜样),亚硝酸盐每日允许摄取量为0.13mg/kg(体重),每人每日容许量为7.8mg。关于蔬菜硝酸盐限量标准,我国目前尚未制订。

硝酸盐、亚硝酸盐广泛存在于农业生态环境中,它们对人体健康和生态环境的危害,现已受到人们的普遍关注。菜农为了获得蔬菜高产量,而盲目地超量施用化学氮肥,致使土壤养分失衡,蔬菜品质退化,硝酸盐积累量剧增。从化学氮肥中,筛选出使蔬菜硝酸盐积累量低的肥料品种、施用剂量、施用安全期以及与有机肥料配合施用等农业技术措施,控制和降低蔬菜硝酸盐的积累,以期达到减轻对人体健康的危害,并提高蔬菜品质和出口创汇价值。

1 材料与方法

施用的化学氮肥品种有硫酸铵含N20%、氯化铵含N24%、碳酸氢铵含N16%、尿素含N46%、硝酸铵含N34%、独联体复合肥含N、P₂O₅、K₂O各16%,计为48%和福建省农业科学院土壤肥料研究所研制批量生产的蔬菜专用肥含N21.5%、P₂O₅8%、K₂O14.5%。计为44%,共7种。以无N区为对照,设计8个处理。供试蔬菜为空心菜,N素用量为450kg/hm²,其中基肥N占40%,第1次追肥N占25%,第2次追肥N占35%,而在第2次追肥后5d取样检测。

参试的N素剂量有5个水平,N素用量分别为150、300、450、600、750kg/hm²,并以无N区为对照,设计6个处理;供试的氮肥为尿素,蔬菜为空心菜,分别同步进行大田和模拟盆栽试验;其中基肥N占40%,第1次、第2次追肥N分别占25%和35%,第2次追肥后5d取样检测。

盆栽试验采用瓷圆柱体钵,钵径r=0.108m,h=0.165m,表面积为0.037m²,装风干土量3.5kg,每钵的基肥、第1次和第2次追肥分别施用尿素量为1.44g、0.9g和1.26g。

无机氮肥与有机肥料N配合施用,参试的有机肥有厩肥和土杂肥两种,厩肥含N0.45%、P₂O₅0.19%、K₂O0.6%、有机质15.0%,土杂肥含N0.40%、P₂O₅0.18%、K₂O0.1%、有机质8.8%。供试蔬菜为空心菜,N肥为尿素,N素用量为450kg/hm²,等同N量其无机N与有机肥N配比为1:1,有机肥料作基肥施用,设计4个处理。

化学氮肥的安全施用期试验,作者设计蔬菜基地生产上常用的3种施肥模式:①基肥、追肥N素各半;②基肥占30%,追肥N占70%;③基肥N占70%,追肥N占30%。以无N区为对照,设计4个处理,供试氮肥为尿素,蔬菜为小白菜,N素用量450kg/hm²,其安全间隔期设为4个时间,于9月9日追肥,后经3、8、13和18d分期取样检测蔬菜硝酸盐的积累量。

上述4项试验,均设3个重复,采用随机排列区组,小区净面积为13.34m²。

供试蔬菜有空心菜、小白菜2种叶菜类;时间由6至9月份。

样品处理和测定 送检的蔬菜取可食部,用清水洗净凉干,后切断捣碎,制成匀浆备样检测^[5]。硝酸盐采用酚二磺酸光度法,亚硝酸盐用N-(1-萘基)-乙二胺盐酸盐光度法(UV-2201型紫外可见分光光度计,日本岛津生产)进行检测。

试验采用大田(系菜园旱地)和模拟盆栽试验相结合的研究方法。大田试验布置在福州市郊区仓山、盖山两个乡镇;仓山的供试土壤pH值为6.93,含全N0.245%,全P₂O₅0.286%,全K₂O2.418%,有机质2.258%,碱解N154mg/kg,速效P₂O₅206mg/kg,K₂O73mg/kg,物理性粘粒含量<0.01mm61.60%,结构系数77.31%,容重1.10(g/cm³),比重2.577(g/cm³);盖山的供试土壤pH值为7.08,含全N0.238%,

全 P_2O_5 0.160%, 全 K_2O 2.557%, 有机质 1.845%, 碱解 N 147mg/kg, 速效 P_2O_5 192g/cm³, K_2O 81mg/kg, 物理性粘粒含量 <0.01mm 60.73%, 结构系数 84.43%, 容重 1.020(g/cm³), 比重 2.575(g/cm³)。模拟盆栽试验在福建省农业科学院土壤肥料研究所网室里实施, 盆栽的供试土壤 pH 值为 6.82, 含全 N 0.136%, 全 P_2O_5 0.24%, 全 K_2O 3.702%, 有机质 0.931%, 碱解 N 77mg/kg, 速效 P_2O_5 140mg/kg, K_2O 70mg/kg, 物理性粘粒含量 <0.01mm 66.15%, 结构系数 85.58%, 容重 1.09(g/cm³), 比重 2.575(g/cm³)。

2 结果与分析

2.1 筛选蔬菜硝酸盐低积累的化学氮肥品种

作者选择农业生产上常用的 7 种化学 N 肥品种, 其中包括有铵态氮肥的硫酸铵、氯化铵、碳酸氢铵 3 种; 硝态氮肥的硝酸铵; 酰胺态氮肥的尿素; 以及富含 N、P、K 三要素的复合肥和专用肥等 5 种类型氮肥。供试蔬菜为空心菜, N 素用量为 450kg/hm², 其中基肥 N 占 40%, 第 1 次、第 2 次追肥 N 分别占 25%, 35%, 而在第 2 次追肥后 5d, 大田于 7 月 15 日, 盆栽于 7 月 26 日取样, 检测结果见表 1。

大田试验结果表明, 参试的 7 种氮肥, 以施用氯化铵和硫酸铵两个处理, 空心菜的硝酸盐积累量为最低, 均值分别为 466.7mg/kg 和 515.0mg/kg, 基本上接近于 WHO/FAO 允许的 432mg/kg 限量标准; 其它的 N 肥, 如下依次递增为尿素、碳酸氢铵、硝酸铵; 但是施用复合肥和专用肥的空心菜硝酸盐积累量为最高, 分别达到 863.7 和 875.0mg/kg。

从盆栽试验检测结果亦与大田试验得出规律基本吻合, 则氯化铵和硫酸铵的处理, 硝酸盐积累量为最低, 分别为 374.0mg/kg 和 430mg/kg, 符合 WHO/FAO 允许的限量标准。

从参试的 7 种化学氮肥品种中筛选结果初步表明, 氯化铵和硫酸铵系为蔬菜低积累硝酸盐的两种氮肥, 其机制可能与这两种氮肥在空心菜体内有较强的同化力所致^[6]。

再者, 在氮肥用量相等时, 不同的氮肥形态可导致不同的 NO_3^- 积累量, 这种差异影响的最大因素是铵态氮和硝态氮的比例, 当铵态氮和硝态氮的比例越小时, 蔬菜体内的 NO_3^- 含量就越高^[4]。这与作者的研究筛选结果是一致的。

据报道^[4,7], 植物积累硝酸盐根本在于其吸收量超过还原同化的量结果。硝酸盐的还原直接影响着硝酸盐的积累。蔬菜体内硝酸盐的积累变异与硝酸还原酶(NR)的活性具有很好的相关性, 成为负相关, 高硝酸盐积累的蔬菜, 它具有一定的耐肥性, 而硝酸还原酶的活性强度是有高度遗传的。

在大田和盆栽试验检测结果表明(见表 1), 空心菜中亚硝酸盐的积累量较低^[7], 范围均在 WHO/FAO 规定允许的限量标准 0.13mg/kg(体重)之下, 均无超标。

表 1 筛选蔬菜硝酸盐低积累的化学氮肥品种(mg/kg, 鲜样)

Table 1 Slewing the types of chemical N. fertilizer with low nitrate accumulation in vegetable (fresh sample)

N 肥 品 种 Types of nitrogen fertilizer	大田试验 Arid land trial			盆栽试验 Pot trial		
	NO_2^- 均值	NO_3^- 均值	比 NH_4Cl 的 NO_3^- 增(%) The increase of NO_3^- in comparison with NH_4Cl	NO_2^- 均值	NO_3^- 均值	比 NH_4Cl 的 NO_3^- 增(%) The increase of NO_3^- in comparison with NH_4Cl
	NO_2^- mean	NO_3^- mean		NO_2^- mean	NO_3^- mean	
无 N 区 Control(Without N)	0.030	51.3		0.023	58.0	
硫酸铵 $(NH_4)_2SO_4$	0.080	515.0	10.3	0.067	430.0	15.0
氯化铵 NH_4Cl	0.110	466.7	—	0.080	374.0	—
碳酸氢铵 NH_4HCO_3	0.100	592.7	27.0	0.090	600.7	60.6
尿 素 Urea	0.103	515.3	10.4	0.107	502.3	34.3
硝酸铵 NH_4NO_3	0.093	625.0	33.9	0.070	696.7	86.3
复合肥 Complete fertilizer	0.130	863.7	85.1	0.087	897.7	140.0
专用肥 Special fertilizer	0.110	875.0	87.5	0.107	718.3	92.1

注: 均值为 3 个重复的平均值, 下同。The mean is averaged from three replications, similarly here in after.

2.2 筛选蔬菜硝酸盐低积累的N素施用剂量

作者根据生产上现状,设计5种N素水平的施用剂量,N素用量分别为150、300、450、600、750kg/hm²,并以无N区为对照,设计6个处理。供试氮肥为尿素,蔬菜为空心菜,分别同步进行大田和模拟盆栽试验。其中基肥N占40%,第1次、第2次追肥N分别占25%和35%,第2次追肥后5d,大田和盆栽分别于6月17日和6月29日取样检测。

研究表明(见表2),空心菜中硝酸盐的积累量,可因N素用量的提高而有明显规律地增加。因此偏施和滥施氮肥是造成蔬菜品质退化的重要原因,也正是这样,作者提出了控制氮肥适量来降低蔬菜硝酸盐的富集。但是要确定最佳的氮肥施用量,从研究结果初步表明,N素用量以300kg/hm²为临界值。同时表明大田与盆栽的试验结果和规律基本吻合。

表2 筛选蔬菜硝酸盐低积累的N素施用剂量(mg/kg,鲜样)

Table 2 Nitrogen application dose for sieving the low nitrate accumulation in vegetable (fresh sample)

处 理 号 Treatment No.	N素水平(kg/hm ²) Nitrogen application level	大田试验 Arid land trial		盆栽试验 Pot trial	
		NO ₃ ⁻ 均值 NO ₃ ⁻ mean	NO ₃ ⁻ 均值 NO ₃ ⁻ mean	NO ₃ ⁻ 均值 NO ₃ ⁻ mean	NO ₃ ⁻ 均值 NO ₃ ⁻ mean
1	0	0.040	76.6	0.050	77.4
2	150	0.050	370.3	0.063	448.0
3	300	0.070	434.0	0.067	504.0
4	450	0.093	563.3	0.097	515.0
5	600	0.120	578.7	0.137	529.0
6	750	0.183	592.0	0.197	585.7

2.3 筛选化学氮肥与有机肥料配合施用对蔬菜硝酸盐降低积累的影响

据资料报道^[6],有机肥料是一项降低蔬菜硝酸盐积累的有益农业措施,同时又提高产品的营养价值。施用有机肥料能降低蔬菜硝酸盐积累的原因,①与生物降解有机质,养分释放缓慢,能更好地适合蔬菜对养分的吸收有关;②可能与有机质促进了土壤反硝化过程,减少土壤中硝态氮的浓度有关。

作者选择有机肥料有厩肥和土杂肥两种,N素用量为450kg/hm²,等同N量并无机N与有机肥N的配比为1:1,有机肥料作基肥施用,设计4个处理,供试氮肥为尿素,蔬菜为空心菜,追肥为5d,于9月6日取样检测,结果表明(见表3)。处理2为纯氮肥尿素,空心菜中硝酸盐积累量为579.3mg/kg,处理3和4的尿素分别配施土杂肥、厩肥,空心菜的硝酸盐积累量为314.3和188.7mg/kg,比纯尿素处理2的硝酸盐分别下降265.50和390.6mg/kg,降幅为45.7%和67.4%。同时表明,配施厩肥的效果比土杂肥更佳。

2.4 筛选化学氮肥安全施用期对蔬菜硝酸盐降低积累的影响

作者在蔬菜生长后期控制施N技术的思路,对蔬菜收获上市时能有效地降低蔬菜硝酸盐的积累,调控蔬菜生长前期用较高的N素水平,而到后期停止供N,为获得蔬菜高量,又可降低硝酸盐积累的蔬菜生产模式。为此,作者设计了蔬菜区生产上的3种施肥模式:①基、追肥N素各半;②基肥N占30%,追肥N占70%;③基肥N占70%,追肥N占30%。以无N区为对照,设计4个处理。供试的氮肥为尿素,蔬菜为小白菜,N素用量为450kg/hm²,其安全间隔期设为4个时间,于9月9日追肥,后经3、8、13和18d分期取样检测小白菜硝酸盐的积累量,试验结果(见表4)。追肥后3d(9月12日)为始期,处理4的小白菜硝酸盐积累量为最低,其次是处理2,而处理3积累量最高。追肥后8d(9月17日),2、3、4诸处理,均比始期的硝酸盐下降7.1%~14.4%,同时仍以处理4的硝酸盐积累量为最低,比始期下降14.4%,其次是处理2的下降9.2%,处理3的积累量仍为最高,仅下降7.1%。追肥后13d(9月22日),2、3、4诸处理,小白菜的硝酸盐积累量由低到高仍然依次为处理4<处理2<处理3,均比始期的硝酸盐积累量下降14.9%~18.5%。追肥后

表 3 筛选化学氮肥与有机肥料配施对蔬菜硝酸盐降低积累的影响(mg/kg, 鲜样)

Table 3 Effect of chemical nitrogen fertilizer incorporated with organic fertilizer on the decrease of nitrate accumulation in vegetable(fresh sample)

处 理 号 Treatment No.	处理 Treatment	NO ₂ ⁻		NO ₃ ⁻	
		均值 Mean	均值 Mean	比尿增减(+,-) Increment or decrement as against urea	比尿素增减(%) Increment or decrement as against urea
1	无肥区(CK) Control(without N)	0.010	59.3		
2	尿素 Urea	0.027	579.3	—	—
3	1/2 尿素+1/2 土杂肥 1/2 urea+1/2 compost	0.057	314.3	-265.0	-45.7
4	1/2 尿素+1/2 厩肥 1/2 urea+1/2 barnyard manure	0.023	188.7	-390.6	-67.4

18d(9月27日),小白菜中硝酸盐由低到高仍依次为处理 2<处理 4<处理 3,比始期的,下降幅度分别为 34.7%、21.9%和 28.2%,见图 1。

追施氮肥后 8d,是蔬菜收获上市的安全始期,硝酸盐下降幅度约在一成左右,此后随时间的延长,硝酸盐降幅逐渐递增,至追肥后 18d,降幅分别达 34.7%、28.2%和 21.9%。

从施 N 技术模式来分析,处理 4 和处理 2 的硝酸盐积累量低于处理 3,进而表明蔬菜施氮肥要十分重视“攻头控尾,重基肥轻追肥”的施 N 技术模式,有利于后期控制和制约小白菜硝酸盐的积累量,同时提高蔬菜的品质和价值。

3 小结

(1)试验从 7 种化学氮肥品种中筛选出氯化铵、硫酸铵两种具有明显降低空心菜硝酸盐的积累,并且能基本上达到 WHO/FAO 允许的限量标准,可供生产上进一步扩大中试和推广应用。特别是氯化铵,对空心菜具有明显的低硝作用,供试的其它 6 种氮肥品种比氯化铵的硝酸盐积累量均分别提高 10.3%~87.5%。据报道^[8],这与 Cl⁻有抑制土壤、肥料中的硝化作用机制有密切相关。

(2)氮素施用剂量水平结果表明,N 素用量以 300kg/hm² 为临界值,若超量,对蔬菜硝酸盐积累有超标的可能性。

(3)研究表明,在等同 N 量的化学氮肥与有机肥料各半配合施用,能有效地降低蔬菜硝酸盐的积累量,均比施用纯化肥尿素的,能降低硝酸盐 45.7%~67.4%,其中以配施厩肥的效果更佳。

(4)研究初步表明,追施氮肥后 8d 为蔬菜收获上市的安全始期,此后随时间的延长,硝酸盐积累量具有明显下降趋势,至追施 N 肥后 18d,蔬菜中硝酸盐分别比始期下降 21.9%~34.7%。同时表明蔬菜以“攻头控尾,重基肥轻追肥”的施 N 技术模式,有利于后期制约蔬菜硝酸盐的积累,并提高蔬菜的品质。

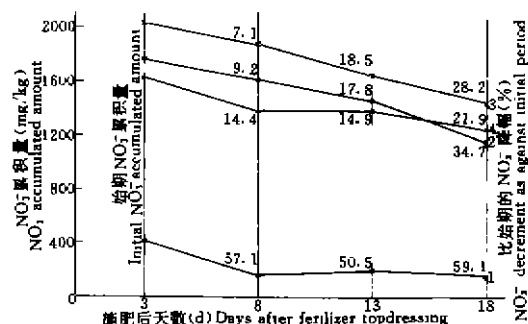


图 1 蔬菜施用化学 N 肥技术模式对硝酸盐累积安全期试验

Fig. 1 The test of safe period for nitrate accumulation under the different chemical N fertilizer application patterns for vegetable

表4 蔬菜施用化学氮肥模式对硝酸盐积累的安全期试验(mg/kg,鲜样)

Table 4 Different patterns of applying nitrogen fertilizer to vegetable for the test of safe period on nitrate accumulation(fresh sample)

处理号 Treatment No.	处理内容 Treatment	9月12日 Sept. 12		9月17日 Sept. 17		9月22日 Sept. 22			9月27日 Sept. 27			
		NO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻ 均值 (A)	NO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻ 均值 (A)	NO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻ 均值 (A)	NO ₃ ⁻	
		均值 (A)	NO ₃ ⁻ 均值 (A)		比始期 下降(%) (B)	NO ₃ ⁻ 均值 (A)		比始期 下降(%) (B)	NO ₃ ⁻ 均值 (A)		比始期 下降(%) (B)	
1	无 N 区 Control(without N)	0.017	402	0.017	172.3	57.1	0.023	199.0	50.5	0.020	164.3	59.1
2	基肥 N50%, 追肥 N50% Basal N 50% topdress- ing N 50%	0.037	1776.7	0.023	1613.3	9.2	0.027	1460.0	17.8	0.020	1160.0	34.7
3	基肥 N30%, 追肥 N70% Basal N 30% topdress- ing N 70%	0.030	2020.0	0.030	1876.7	7.1	0.020	1646.7	18.5	0.020	1450.0	28.2
4	基肥 N70%, 追肥 N30% Basal N 70% topdress- ing N 30%	0.013	1630.0	0.030	1395.0	14.4	0.020	1336.7	14.9	0.020	1273.3	21.9

注:9月12日为始期。Sept. 12 was initial date, (A), Mean, (B), Decrement as against initial date.

参 考 文 献

- 1 沈明珠,翟宝杰等.蔬菜硝酸盐累积的研究.园艺学报,1982,9(4):41~48
- 2 卢刈又次等.作物生理讲座.上海:上海科技出版社,1996.204~205
- 3 郑鹏然,周树南.食品卫生工作手册.北京:人民卫生出版社,1985.418~428
- 4 上海第一医学院等.食品毒理.北京:人民出版社,1978.365~396
- 5 邹邦基译.(日)农林省作物分析法委员会编.栽培植物营养诊断分析方法.北京:农业出版社,1984.315~326
- 6 庄舜尧,孙秀廷.氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响.土壤学进展,1995,23(3):29~35
- 7 胡勤海,叶兆杰等.杭州市蔬菜硝酸盐污染现状及防治对策.环境污染与防治,1991,13(4):5~9
- 8 刘康等.氯化铵硝化抑制效应的初步研究.土壤肥料,1990,(1):21~23
- 9 宋国菊.饮食与胃癌的病因.北京医学院学报,1978,(1):52~60
- 10 屿岛永生.蔬菜营养生理与土壤.福州:福建科学出版社,1982.101~105
- 11 郭志凯.氮素肥料的环境问题.农业环境保护,1987,6(4):25~27
- 12 傅克文.农业环境的化学污染.北京:农业出版社,1985
- 13 何述尧,胡学铭等.广州市蔬菜硝酸盐污染与残留条件的调查研究.广东农业科学,1986,(2):38~41
- 14 沈明珠.蔬菜中的硝酸盐.农业环境保护,1983,(2):23~27
- 15 Kolenbrander G J.肥料和污染.土壤学进展,1983,11(3):49~58
- 16 Nielsen D R et al. Nitrogen in the environment. Vol. I. Soil-plant-nitrogen relationships, 1978. 201~235
- 17 Barker A V et al. Variations in nitrate accumulation among spinach cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci, 1974, 99(2), 132~134
- 18 Heuer B. Journal of Plant Nutrition. 1991, 14(4):363~373
- 19 Freyman G. Soil Science. 199, 71(3):943~946
- 20 Koichiro Watacabc. Plant Nutrition. 1993, 16(2):57~60