

不同氮肥用量对绿芦笋产量及营养品质的影响

谷永丽¹, 杨恒山^{1*}, 刘艳红², 张瑞富¹, 梁怀宇¹

(¹ 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古通辽 028042; ² 山东潍坊寒亭气象局, 山东潍坊 261100)

摘要: 2007年3~7月在西辽河平原的内蒙古民族大学实验农场,以3年生芦笋格兰德(*Asparagus officinalis* L. cv. Grande)为试材,研究了不同氮肥用量对绿芦笋产量及营养品质的影响。结果表明,采笋期施氮量在N 0~360 kg/hm²的范围内,绿芦笋产量和合格笋率均随施氮量的增加而增加;嫩茎抽生数和其叶绿素含量的增加是笋产量增加的主要原因。施氮促进细茎笋(直径小于0.5 cm)长粗从而降低了不合格笋的比例。随着氮肥用量的增加,叶绿素a、叶绿素b的含量增加,而类胡萝卜素的含量变化不大。粗蛋白质、可溶性蛋白质、可溶性糖含量均随施氮量的增加而增加;矿质元素含量在适宜施氮水平下较高,高施氮和不施氮处理含量均较低。采笋前期芦丁含量较高且随施氮量的增加而减少,采笋后期芦丁含量降低,且处理间差异变小。在试验条件下,施氮量在N 240 kg/hm²左右,不仅具有较高的产量水平和较好的营养品质,而且增产效果明显。

关键词: 氮肥用量;绿芦笋;产量;营养品质

中图分类号: S644.2; S606+.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)03-0631-07

Effects of different amount of nitrogen fertilizer on yield and nutrient quality of green asparagus

GU Yong-li¹, YANG Heng-shan^{1*}, LIU Yan-hong², ZHANG Rui-fu¹, LIANG Huai-yu¹

(¹ Agricultural College of Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028042, China;

² Hanjing Meteorological Bureau of Weifang Shandong Province, Weifang 261100, China)

Abstract: In experimental farm of Inner Mongolia University for Nationalities from March to July in 2007, using three-year *Asparagus officinalis* L. cv. Grande as experimental material, we studied the effect of different amount of nitrogen fertilizer on yield and nutrient quality of green asparagus. The results are as the following: the yield of green asparagus and rate of qualified green asparagus goes up with the increase of the amount of nitrogen fertilizer during the harvesting time when the amount of nitrogen fertilizer is within N 0-360 kg/ha. The occurrence number of tender stem and the increase of the amount of chlorophyll are the major reason for the increase of the yield of green asparagus, while applying nitrogen fertilizer can make thin asparagus (whose diameter is less than 0.5 cm) long and wide thus decreases the rate of unqualified asparagus. With the increase of amount of nitrogen fertilizer, the content of chlorophyll a and b increase, and the content of carotenoid have no obvious change. The content of crude protein, soluble protein and soluble sugar all increase with the increase of amount of nitrogen fertilizer. The content of mineral elements are much higher when the amount of nitrogen fertilizer is appropriate, but which is lower when the amount of nitrogen is too much or little. Before harvesting time, the content of rutin are much higher and decreases with the increase of amount of nitrogen fertilizer, while after harvesting time, the content of rutin decreases and the difference among each treatment was not obvious. Under this experimental condition, when the amount of nitrogen fertilizer is about N 240 kg/ha, green asparagus not only has higher yield and better nutrient quality, but also its yield has obvious lifted with the increasing of the nitrogen fertilizer.

Key words: amount of nitrogen fertilizer; green asparagus; yield; nutrient quality

收稿日期: 2008-04-16

接受日期: 2008-08-04

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(200508010316)资助。

作者简介: 谷永丽(1983—)女,回族,内蒙古海拉尔人,硕士研究生,主要从事芦笋生理与栽培方面的研究。

* 通讯作者 Tel: 0475-8314386, E-mail: yanghengshan2003@yahoo.com.cn

芦笋(*Asparagus officinalis* L.)是一种多年生宿根性草本植物,定植第3年进入产笋高峰期,一般可连续采笋10~15年。在寒温带地区,每年秋末地上部分枯萎,地下部分休眠越冬,第2年春季由地下根盘长出嫩茎,为食用部分。芦笋因其嫩茎具有较高的营养价值和保健功能,在国际市场上享有“蔬菜之王”的美誉^[1]。绿芦笋苦涩味小,风味好,营养丰富,维生素A和维生素C的含量都高于白芦笋^[2]。近年来,绿芦笋产品逐渐被更多的消费者所认可,国内市场需求旺盛,国际市场供不应求^[3]。施用氮肥是提高蔬菜产量的关键措施,然而过量施用化学氮肥,不仅会造成肥效降低、收益递减,而且还会引起蔬菜品质的下降和硝酸盐含量增加,同时也造成地下水源污染^[4-7]。东北及内蒙古东部是我国芦笋北移种植的理想区域,其适宜采笋期为50~60 d,需肥强度低于南方笋区(两季采笋)^[8-9],这一区域芦笋施氮的研究尚未见报道。本试验通过不同氮肥用量对绿芦笋产量及营养品质影响的研究,为绿芦笋的合理施氮提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在西辽河平原中部的内蒙古民族大学农学院农场进行。试验点地处43°36'N、122°22'E,海拔178 m。属典型的温带大陆性季风气候,年均太阳辐射能为5200 MJ/m²,日照时数3100 h;年均气温6.8℃,极端最低温-30.9℃,≥10℃活动积温3200℃,无霜期150 d左右;年均降水量399.1 mm,生长季(4~9月)降水量占全年的89%。试验田为灰色草甸土,土壤有机质含量16.2 g/kg,碱解氮82.3 mg/kg,速效磷44.7 mg/kg,速效钾168.3 mg/kg, pH值8.10。

供试芦笋品种为格兰德(*Asparagus officinalis* L. cv. Grande),由美国加州芦笋种子引进,为2005年定植的3年生芦笋。定植当年基施有机肥6000 kg/hm²(总氮≥14.5%,有机质≥30.0%,由山东阜丰发酵有限公司生产),过磷酸钙450 kg/hm²(P₂O₅≥12.0%,由铜陵市铜官山化工有限公司生产),磷酸二铵(总养分≥64.0%,由中化国际化肥贸易公司生产)和硫酸钾(K₂O≥25.0%,由山东省运城永昌化工有限公司生产)各225 kg/hm²。定植第2年(2006年)春季追施氮肥300 kg/hm²,氮肥为尿素(N≥46.0%)。秋季追施氮肥300 kg/hm²,过磷酸钙450 kg/hm²,氯化钾(K₂O≥60.0%,由中化化肥有限公司

生产)375 kg/hm²。

试验设不施氮(CK)、施N 120(N120)、240(N240)和施N 360(N360)kg/hm² 4个施氮水平。定植行距120 cm,株距30 cm,小区面积1.2 m×5 m,3次重复。春季清园后(4月8日),各小区均沟施过磷酸钙450 kg/hm²、氯化钾375 kg/hm²。采笋1周前(4月21日)和采笋4周后(5月26日)在距笋茎15 cm处开沟追施尿素,深度为12 cm,施量均为设计用量的50%。

采笋期内浇水4次,人工铲草4次,各处理栽培管理方式一致。

1.2 测定项目和方法

产量测定和合格笋的标准:2007年4月29日至6月22日连续采笋55 d,采笋以嫩茎高度≥20 cm确定,每天上、下午各进行1次,测定合格、不合格笋的产量。参照有关文献^[10-11]并结合研究地区芦笋生长的实际,合格笋的标准为:笋长≥20 cm,直径≥0.5 cm,允许有轻微弯曲、散头、茎裂和机械伤口。

光合色素含量的测定:分别于采笋前期(5月9日)、后期(6月8日)取嫩茎,用乙醇丙酮快速浸提法测定,按Arnon公式计算叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量^[12]。

营养物质和硝酸盐含量的测定:2007年5月10日、6月9日分别作为采笋前期和后期的代表田间取样,样品均为合格笋且长度、粗度、笋形较为一致。其中,100 g鲜样直接用于测定可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸、Vc、芦丁及硝酸盐含量。测定方法分别为:可溶性糖含量采用蒽酮法^[13];硝酸盐含量采用水杨酸比色法^[13];可溶性蛋白含量采用紫外吸收法^[14];氨基酸含量采用茚三酮比色法^[14];Vc含量采用分光光度计法^[15];芦丁含量用高效液相色谱仪测定^[16]。另取鲜样200 g,纵向切开、分段后,于60℃恒温箱烘干,粉碎后用凯氏定氮法测定粗蛋白质含量^[17]。矿质元素含量测定:将烘干样品粉碎,过0.2 mm筛,将干样均匀混合经微波消解后定容供矿质元素含量测定(其中,为了使所测矿质元素含量与植株实际营养元素含量更相符,将前后两次样品等量混合)。

试验数据用Microsoft Excel和DPS软件进行分析,显著性差异采用新复极差法(SSR)比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥用量对绿芦笋产量及其合格率的影响

表 1 可见,合格笋支数、不合格笋支数及总支数均随着氮肥用量的增加而增加。N360 处理,合格笋支数及总支数分别较 CK、N120 处理增加 18.9%、12.8%和 15.6%、10.6%;而与 N240 处理差异不显著。合格笋所占的比例随施氮量的增加而增加,主要是施氮能促进笋茎长粗,直径小于 0.5 cm 细笋减少。

从产量来看,N360 处理下合格笋产量、总产量均显著地高于 CK 和 N120 处理,而与 N240 处理间

差异不显著。从合格笋、不合格笋的平均单支重来看,各处理间差异均不显著,说明随着施氮量的增加,笋支数增加是其产量增加的主要原因。

从施氮的增产效应看,N240 处理较 N120 处理合格笋产量增加 986.92 kg/hm²,平均每增施 1kg 氮,增产 8.2 kg/hm²;而 N360 处理较 N240 处理合格笋产量增加 530.87 kg/hm²,平均每增施 1kg 氮,增产 4.4 kg/hm²。说明施用量超过 N 240 kg/hm²,施氮增产效率下降。

表 1 不同氮肥用量对绿芦笋产量及其合格率的影响

Table 1 The effect of different amount of N fertilizer on the yield of green asparagus and the rate of qualified asparagus

处理 Treat.	支数 Branch No. (× 10 ⁴ /hm ²)			单支重 Weight of per branch (g)			产量 Yield (t/hm ²)		
	合格笋 Qualified	不合格笋 Unqualified	总计 Total	合格笋 Qualified	不合格笋 Unqualified	平均 Mean	合格笋 Qualified	不合格笋 Unqualified	总计 Total
CK	54.05 c (81.0)	12.68 a (19.0)	66.73 c (100)	18.90 a	5.133 a	16.30 a	10.21 b (94.0)	0.6518 b (6.0)	10.86 b (100)
N120	57.00 bc (81.8)	12.73 a (18.2)	69.73 bc (100)	18.47 a	4.667 a	15.90 a	10.51 b (94.7)	0.5882 c (5.3)	11.10 b (100)
N240	60.80 ab (82.7)	12.73 a (17.3)	73.53 ab (100)	18.90 a	5.533 a	16.60 a	11.49 a (94.3)	0.6947 a (5.7)	12.19 a (100)
N360	64.27 a (83.3)	12.87 a (16.7)	77.14 a (100)	18.70 a	5.367 a	16.47 a	12.03 a (94.8)	0.6622 ab (5.2)	12.69 a (100)

注:同列数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。括号内为合格笋、不合格笋所占总支数及总产量的比例。

Note: The value followed by different letters in the same column mean significant at 5% level, the same below. The number in brackets is the rate of unqualified asparagus and unqualified asparagus.

2.2 不同氮肥用量对不同采笋期产笋速率的影响

采笋前期、中期、后期,合格笋的产笋速率均随着施氮量的增加而增加(表 2),说明施氮有利于提高合格笋的生产速率;随着采笋时间的持续,各处理均表现为产笋速率下降。采笋期内产笋速率下降主要是采笋前期,肉质根贮藏的有机养分和根系吸收的无机养分供给充足,芦笋生长迅速;而采笋后期,由于生长消耗导致养分供应不足,芦笋生产速率明显下降。施氮水平相对较高的 2 个处理(N240, N360),采笋后期笋产量相对较高,说明氮素养分不足是笋产量下降的原因之一。

2.3 不同氮肥用量对嫩茎光合色素含量的影响

表 3 可见,随着施氮量的增加叶绿素 a、叶绿素 b 的含量均呈上升趋势,而类胡萝卜素的含量与施氮量的关系不明显。采笋前期叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素的含量均明显高于采笋后期,这与采笋

过程中芦笋肉质根营养物质消耗和土壤养分供应水平下降有关。由于绿芦笋出笋 2~3 d 就采收了,所以自身光合作用对笋产量的影响较小,也就是说叶绿素含量的变化不是产笋速率不断下降的主要原因。

2.4 不同氮肥用量对绿芦笋品质的影响

2.4.1 对嫩茎含氮化合物含量的影响 表 4 表明,粗蛋白质含量随施氮量的增加而增加,采笋后期较采笋前期含量略低;可溶性蛋白含量总体上表现为随施氮量的增加而增加,后期含量明显高于前期,二者相差近 1 倍;游离氨基酸含量在采笋前、后期均以 N240 处理最高,N360 处理最低。硝酸盐的含量随施氮量增加而增加,后期含量明显高于前期。硝酸盐含量是衡量蔬菜品质的重要指标之一,其值升高造成营养品质的下降^[18]。笋茎可溶性蛋白、硝酸盐及游离氨基酸含量采笋后期高于采笋前期,其原因

表 2 不同氮肥用量对不同采笋期产笋速率的影响 [g/(m²·d)]

Table 2 The effect of different amount of N fertilizer on asparagus' production rate at different harvesting periods

处理 Treat.	合格笋 Qualified			不合格笋 Unqualified			平均 Mean		
	前期 Prophase	中期 Metaphase	后期 Anaphase	前期 Prophase	中期 Metaphase	后期 Anaphase	前期 Prophase	中期 Metaphase	后期 Anaphase
CK	20.68 (372.2)	19.07 (362.3)	15.91 (286.4)	1.320 (23.76)	1.220 (23.18)	1.020 (18.36)	22.00 (396.0)	20.29 (385.5)	16.93 (304.7)
N120	21.03 (378.5)	19.94 (378.9)	16.30 (293.4)	1.540 (27.72)	0.9300 (17.67)	0.7400 (13.32)	22.57 (406.3)	20.87 (396.5)	17.04 (306.7)
N240	23.31 (419.6)	21.21 (403.0)	18.16 (326.9)	1.980 (35.64)	0.7500 (14.25)	1.080 (19.44)	25.29 (455.2)	21.96 (417.2)	19.24 (346.3)
N360	25.23 (454.1)	21.84 (415.0)	18.52 (333.4)	1.800 (32.40)	0.8400 (15.96)	0.9900 (17.82)	27.03 (486.5)	22.68 (430.9)	19.51 (351.2)

注:前期为 4.29-5.16,中期为 5.17-6.4,后期为 6.5-6.22;括号内为不同采笋期的累积产量(g/m²)。

Note: Prophase is from 29th April to 16th May, Metaphase is from 17th May to 4th June, Anaphase is from 5th June to 22th June; The number in brackets are cumulative production at different harvesting periods.

表 3 不同氮肥用量对嫩茎光合色素含量的影响 (mg/kg, FW)

Table 3 The effect of different amount of N fertilizer on the content of photosynthetic pigment of tender stem

处理 Treat.	叶绿素 a Chl. a		叶绿素 b Chl. b		类胡萝卜素 Carotenoid	
	Pro.	Ana.	Pro.	Ana.	Pro.	Ana.
CK	102 b	32.5 c	49.8 ab	13.8 b	26.0 b	9.45 b
N120	120 a	34.7 b	45.2 b	13.8 b	25.3 b	8.97 b
N240	110 ab	37.7 a	51.0 a	14.8 a	26.1 b	10.6 a
N360	121 a	37.8 a	52.4 a	15.1 a	31.7 a	7.98 c

注 (Note): Pro. 一前期 Prophase; Ana. 一后期 Anaphase. 下同 The same below.

因是采笋期内幼笋是唯一的生长中心,前期营养充足,嫩茎生长速度快,体内含氮化合物积累较少;而后期产笋速率下降,嫩茎积累的含氮化合物较多,从

而导致后期的可溶性蛋白及游离氨基酸含量增加。同时,生长后期根系活力下降,同化氮素的能力变弱,提高了后期硝酸盐的含量^[19-20]。

2.4.2 对嫩茎维生素 C、芦丁及可溶性糖含量的影响 表 5 看出,采笋前期,不同施氮水平下 Vc 含量差异较大,CK 显著低于 N120 处理和 N360 处理;采笋后期,不同处理间差异减小且总体含量明显低于采笋前期。芦丁含量在采笋前期随施氮量的增加而减少,这可能与本期施氮对促进生物量的提高比对促进芦丁合成作用更为明显;采笋后期芦丁含量较前期降低,各施氮处理间差异小且均高于 CK。可溶性糖含量总体上随施氮量的增加而增高,这是采笋前施用了 P、K 肥,追施氮肥平衡了养分之间的矛盾,进而促进了碳水化合物的代谢,因而提高了芦笋的可溶性糖的含量^[21]。

表 4 不同氮肥用量对嫩茎含氮化合物含量的影响

Table 4 The effect of different amount of N fertilizer on the content of N compounds of tender stem

处理 Treat.	粗蛋白 Crude protein (%, DW)		可溶性蛋白 Soluble protein (mg/kg, FW)		游离氨基酸 Free amino acid (mg/kg, FW)		硝酸盐 Nitrate (mg/kg, FW)	
	Pro.	Ana.	Pro.	Ana.	Pro.	Ana.	Pro.	Ana.
CK	23.75 b	23.15 b	920.5 c	1684 b	296.3 b	570.4 a	29.30 c	77.80 c
N120	23.80 b	23.25 b	968.2 bc	1791 ab	265.3 b	541.0 b	28.60 c	88.00 c
N240	24.10 b	24.00 ab	986.6 b	1867 a	345.5 a	580.8 a	35.40 b	108.7 b
N360	25.15 a	24.70 a	1092 a	1828 a	197.6 c	498.6 c	38.4 0a	139.9 a

表 5 不同氮肥用量对嫩茎维生素 C、芦丁及可溶性糖含量的影响

Table 5 The effect of different amount of N fertilizer on the content of Vc and rutin and soluble sugar of tender stem

处理 Treat.	维生素 C Vc (mg/kg)		芦丁 Rutin (mg/kg)		可溶性糖 Soluble sugar (%)	
	Pro.	Ana.	Pro.	Ana.	Pro.	Ana.
CK	771.7 b	536.7 a	662.1 a	566.4 b	3.54 bc	1.58 b
N120	959.1 a	542.0 a	655.9 a	585.2 a	3.49 c	1.93 a
N240	830.2 b	515.3 b	595.2 b	582.0 ab	3.67 ab	2.20 a
N360	946.5 a	538.7 a	607.1 b	592.7 a	3.76 a	2.26 a

2.4.3 对嫩茎矿质元素含量的影响 嫩茎中矿质元素的含量均随着施氮量的增加呈先升后降的趋势,其中 Ca、Na、Mg 的含量均以 N 240 处理最高,分别较 CK 增加 11.6%、32.2%、18.5%;而 Zn、Fe、Cu、Mn 的含量均以 N120 处理最高,分别较 CK 增加 4.5%、225.8%、104.7%、22.1%,差异均达显著水平

(表 6)。表明施氮量在 N 120~240 kg/hm² 范围内,有利于矿质元素含量的增加。高氮水平芦笋的鲜体产量虽相对较高,但矿质养分含量下降。这可能是由于在适量氮水平,芦笋生长发育良好,代谢旺盛,根系活力高,因而吸收、积累的矿质元素多^[22]。

表 6 不同氮肥用量对嫩茎矿质元素含量的影响

Table 6 The effect of different amount of nitrogen fertilizer on the content of mineral elements of tender stem

处理 Treat.	Ca	Mg	Na	Zn	Fe	Cu	Mn
	(mg/g)				(μg/g)		
CK	2.83 bc	1.55 c	565.9 b	64.15 b	177.8 c	16.01 c	23.93 c
N120	2.88 b	1.69 b	565.5 b	67.01 a	579.1 a	32.78 a	29.21 a
N240	3.16 a	1.84 a	748.2 a	63.47 b	314.3 b	19.37 b	25.80 b
N360	2.78 c	1.40 d	673.5 a	49.30 c	165.1 c	15.02 c	19.55 d

3 讨论与结论

在灌溉条件下,决定绿芦笋产量水平和出笋速率主要是肉质根贮藏的营养物质和土壤养分的供应水平^[10]。芦笋是一种需氮量较大的蔬菜,施氮水平和施氮时期对芦笋生长、产量及氮肥利用效率均有一定的影响^[3,23]。适宜的氮肥用量不仅与土壤肥力有关,而且与持续采笋期长短关系密切。在本试验的条件下,适宜的施氮量在 N 240 kg/hm² 左右,高于这一水平,施氮的增产效应下降。这种施氮效应的变化趋势与 Pitman 等^[24]研究结论基本相同;但适宜施氮量有所不同,这可能与土壤肥力和采笋强度不同有关。本试验看出,施用氮肥能促进嫩茎的抽生,合格笋支数的增加;同时,施氮有利于细茎(直径小于 0.5 cm)长粗,从而使不合格笋的比例有所降低。采收期内,产笋速率下降的原因是根系贮藏的营养物质和土壤养分含量不断消耗所致。因此,上年度采笋结束后,重施复壮肥(最好为有机肥)有利于根系贮藏更多的营养物质,保证来年的持续高产^[25]。由于采笋期内营养物质输出强度大,必须

追施化学肥料。考虑到氮肥易渗透流失的特点,追施尿素以少量多次为宜。

蔬菜生长过程中极易富集硝酸盐,而硝酸盐是亚硝酸的前体物^[26],因此,控制蔬菜硝酸盐的含量对保证人体健康具有重要的意义。陈钢等^[27]、肖时运等^[28]对西瓜和薹菜的研究表明,在一定范围内施氮会增加蔬菜体内硝酸盐的含量。本研究表明,随着施氮量的增加,芦笋体内硝酸盐的含量升高,而且采笋后期由于根系营养物质的不断消耗而活力下降,同化氮素的能力变弱,升高更为明显^[19-20]。但即使是最高施氮水平(N360),其体内硝酸盐含量仍低于 432 mg/kg 的临界值,达到蔬菜安全食用的标准^[28]。

芦丁具有软化血管、降压降脂等作用,是芦笋中最具保健功能的成份^[29]。芦笋是芦丁含量较高的植物之一,氮肥用量对芦丁的影响尚未见报道。本试验结果表明,采笋前期,芦丁含量较高且随施氮量的增加而减少;采笋后期,芦丁含量降低,但施氮均高于 CK,且处理间差异变小。

参考文献:

- [1] 陈光宇. 芦笋无公害生产技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004. 1-70.
Chen G Y. Asparagus non-pollution production technology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2004. 1-70.
- [2] 苏保乐. 芦笋金针菜出口标准与生产技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 2003. 1-20.
Su B L. The export standard and production technology of asparagus and day lily [M]. Beijing: Gold Shield Press, 2003. 1-20.
- [3] 陆锡康, 陈忠, 陈泉生, 等. 不同氮肥用量对绿芦笋的影响 [J]. 上海农业学报, 2005, 21(4): 75-77.
Lu X K, Chen Z, Chen Q S *et al.* Effect of amount of nitrogen fertilizer on green asparagus [J]. Acta Agric. Shanghai, 2005, 21(4): 75-77.
- [4] 郭文龙, 党菊香, 吕家珑, 等. 不同年限蔬菜大棚土壤性质演变与施肥问题的研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 85-89.
Guo W L, Dang J X, Lü J L *et al.* Soil properties and fertilization in vegetable greenhouse at different ages [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2005, 23(1): 85-89.
- [5] 杨晓英, 杨劲松. 氮素供应水平对小白菜生长和硝酸盐积累的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 160-163.
Yang X Y, Yang J S. Effects of nitrogen levels on the growth and nitrate accumulation of pakchoi [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(1): 160-163.
- [6] Jenkinson D S. An introduction to the global nitrogen cycle [J]. Soil Use Manag., 1990, 6: 56-61.
- [7] 王强, 姜丽娜, 符建荣, 等. 氮素形态、用量及施用时期对小白菜产量和硝酸盐含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 126-131.
Wang Q, Jiang L N, Fu J R *et al.* Effects of form, rate and time of N fertilizer application on yield and nitrate content of greengrocery [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 14(1): 126-131.
- [8] 杨恒山, 谷永丽, 张宏宇, 等. 西辽河平原引种芦笋研究初报 [J]. 北方园艺, 2007, (5): 26-28.
Yang H S, Gu Y L, Zhang H Y *et al.* Study on introduction of asparagus in Xiliaohe plain [J]. Northern Hort., 2007, (5): 26-28.
- [9] 陆锡康, 朱德渊, 陈忠, 陈泉生. 无公害绿芦笋标准化周年生产技术的研究 [J]. 上海农业学报, 2007, 23(1): 75-79.
Lu X K, Zhu D Y, Chen Z, Chen Q S. Research on standardized year-round production of pollution-free green asparagus [J]. Acta Agric. Shanghai, 2007, 23(1): 75-79.
- [10] 刘克均. 芦笋高产栽培实用技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001. 1-8.
Liu K J. Asparagus high-yield practical cultivation technology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2001. 1-8.
- [11] 王以元, 李同征, 陈爱红. 芦笋出口质量标准及达标栽培技术规程 [J]. 中国蔬菜, 2005, (8): 39-40.
Wang Y Y, Li T Z, Chen A H. The export quality standard and the reachment cultivation technology regulation of asparagus [J]. China Veget., 2005, (8): 39-40.
- [12] 苏正淑, 张宪政. 几种测定植物叶绿素的方法比较 [J]. 植物生理学通讯, 1989, (5): 77-78.
Su Z S, Zhang X Z. The comparison of several determination methods of plant chlorophyll [J]. Plant Physiol. Commun., 1989, (5): 77-78.
- [13] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 54-112.
Zou Q. The guide for plant physiology experiments [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 54-112.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 87-88.
Li H S. Plant physiology and biochemical experiment principle and technology [M]. Beijing: High Education Press, 2000. 87-88.
- [15] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富, 等. 植物生理学实验技术 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994. 145-147.
Zhang X Z, Chen F Y, Wang R F *et al.* Plant physiology experiment technology [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1994. 145-147.
- [16] 朱立华, 孙萍, 曹国红, 等. 反相高效液相色谱法测定芦笋中各段芦丁的含量 [J]. 济南大学学报(自然科学版), 2007, 21(1): 53-55.
Zhu L H, Sun P, Cao G H *et al.* Determination of rutin in different parts of asparagus officinalis linne by reversed phase high-performance liquid chromatography [J]. J. Univ. Jinan (Nat. Sci.), 2007, 21(1): 53-55.
- [17] 宁开桂. 实用饲料分析手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993. 31-81.
Ning K G. Practical analysis manuals for feed [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1993. 31-81.
- [18] 王柳, 张福壤, 魏秀菊. 不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 225-229.
Wang L, Zhang F M, Wei X J. Effect of different nitrogen fertilization levels on quality and yield of cucumber cultivated in solar greenhouse [J]. Trans. CSAE, 2007, 23(12): 225-229.
- [19] 谭芸, 寿森炎, 黄锡志, 等. 不同季节芦笋嫩茎品质的差异研究 [J]. 北方园艺, 2006, (6): 18-20.
Tan Y, Shou S Y, Huang X Z *et al.* Seasonal changes in quality composition in asparagus spear [J]. Northern Hort., 2006, (6): 18-20.
- [20] 王忠. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 84-85.
Wang Z. Plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 84-85.
- [21] 王荣萍, 蓝佩玲, 李淑仪, 等. 氮肥品种及施肥方式对小白菜产量与品质的影响 [J]. 生态环境, 2007, 16(3): 1040-1043.
Wang R P, Lan P L, Li S Y *et al.* Effects of different nitrogen fertilizers and fertilization patterns on yield and quality of Brassica chinensis [J]. Ecol. Environ., 2007, 16(3): 1040-1043.
- [22] 袁继超, 刘从军, 俄胜哲, 等. 施氮量和穗粒肥比例对稻米营养品质及中微量元素含量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 183-187.
Yuan J C, Liu C J, E S Z *et al.* Effect of nitrogen application rate and fertilizer ratio on nutrition quality and trace-elements contents of rice grain [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(2): 183-187.

- [23] Ledgard S F , Douglas J A , Follett J M *et al.* Influence of time of application on the utilization of nitrogen fertilizer by asparagus , estimated using ^{15}N [J]. *Plant Soil* , 1992 , 147 (1) : 41-47.
- [24] Pitman B C , Sanders D C , Swallow W H. Growth and development of young asparagus plants in response to N fertilizer [J]. *Hort. Sci.* , 1991 , 26 (2) : 109-112.
- [25] 李书华. 芦笋标准化栽培技术 [M]. 北京 : 中国农业出版社 , 2004. 67-69.
Li S H. Asparagus standard practical cultivation technology [M]. Beijing : China Agricultural Press , 2004. 67-69.
- [26] Gutezeit B. Yield and nitrate content of carrots (*Daucus carota* L.) as affected by nitrogen supply [J]. *Acta Hort.* , 1999 , 506 : 87-98.
- [27] 陈钢, 宋桥生, 吴礼树, 等. 不同供氮水平对西瓜产量和品质的影响 [J]. *华中农业大学学报* , 2007 , 26 (4) : 472-475.
Chen G , Song Q S , Wu L S *et al.* Effect of different nitrogen supply level on yield and quality of watermelon [J]. *J. Huazhong Agric. Univ.* , 2007 , 26 (4) : 472-475.
- [28] 肖时运, 刘强, 谢桂先, 等. 不同施氮量对蔬菜品质及氮肥利用率的影响 [J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)* , 2006 , 32 (5) : 482-486.
Xiao S Y , Liu Q , Xie G X *et al.* Effects of N applying rates on yield , quality of water spinach and the N use efficiency [J]. *J. Hunan Agric. Univ. (Nat. Sci.)* , 2006 , 32 (5) : 482-486.
- [29] 叶劲松. 芦笋的食疗与食谱 [M]. 北京 : 台湾出版社 , 2005. 15-21.
Ye J S. The dietotherapy and dietary of asparagus [M]. Beijing : Taiwan Press , 2005. 15-21.