植物营养与肥料学报 2006,12(3):400－405
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同施氮处理草莓氮素吸收分配及产量差异的研究

彭福田，张 青，姜远茂，彭 勇，周 鹏
（山东农业大学园艺科学与工程学院，山东泰安 271018）

摘要：利用稳定性同位素^{15}N示踪技术，研究了施肥时期与施肥量对设施盆栽草莓^{15}N尿素吸收分配的影响。结果表明，^{15}N尿素定植时与花前各半量追施，氮肥利用率最高，达52.5%，花前追肥利用率最低，为34.2%。不同时期施肥，植株收获时氮素在草莓各器官中的分配差异较大，定植时追肥，营养器官分配率为85%，生殖器官15%；定植时和花前各半量追肥时，营养器官分配率为72.2%，生殖器官27.8%；而花前追肥则生殖器官分配率提高到31.3%。^{15}N的吸收分配随着生长中心而转移，生长后期生殖器官对^{15}N的竞争力高于营养器官。增加氮肥施用量，氮肥利用率下降。田间试验表明，氮肥运筹对植株成熟叶片硝态氮浓度与SPAD值有显著影响，设施栽培草莓施N 225 kg/hm^2，于定植时与花前各半量施用，草莓花芽分化早，早期产量与总产量均高。

关键词：草莓；氮肥运筹；^{15}N；氮肥利用率；分配；产量
中图分类号：S668.4；S606　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)03-0400-06

Effect of nitrogen application on nitrogen absorption, distribution and yield of Strawberry

PENG Fu-tian, ZHANG Qing, JIANG Yuan-mao, PENG Yong , ZHOU Peng
(*College of Horticulture Science and Engineering of Shandong Agricultural University. Taian 271018, China*)

Abstract: Pot experiments were conducted to examine the effects of nitrogen application time and rate on nitrogen absorption and distribution using labeled ^{15}N isotope technique. The treatment applying N at fix planting and before anthesis with half dose got the highest nitrogen utilization rate equivalent to 52.5%; while the nitrogen utilization rate of the treatment applying N before anthesis with full dose was the lowest being 34.2%. The ratio of N-distribution in various organs existed significant difference when fertilizer was applied at different stages. The ratio of N-distribution of nutritive organs to genital organs was 5.7 to 1, while the ratio was 2.6 to 1 when N was top addressed with half dose at fix planting and before anthesis. Top addressing N before anthesis could increase the N distribution rate of genital organ significantly equivalent to 31.3%. By all appearances, the absorption and distribution of ^{15}N were transfused with the change of organic centre of strawberry. The competition ability of genital organs on ^{15}N at the later growing period was higher than nutritive organs. Field test results indicated nitrogen application influenced significantly nitrate concentration and SPAD reading of ripe leaf. Applying N with dose of 225 kg/ha by means of top addressing at fix planting and before anthesis with half dose separately could accelerate blossom buds differentiation and get the highest forepart and total yield of strawberry.

Key words: strawberry; nitrogen application; ^{15}N; absorption; distribution; yield

氮肥的合理运筹是提高果树产量与品质的主要技术措施之一。施用氮肥不仅能提高叶片叶绿素含

收稿日期：2005-08-01　　**修改稿收到日期**：2005-11-15
基金项目：国家自然科学基金项目(30571286)资助。
作者简介：彭福田(1969—)，男，山东莒南人，副教授，博士，主要从事果树营养生理与施肥技术研究。

量，改善光合性能，达到“以氮增碳”的效果，还能增强果实库活性，延长果实发育期，从而影响果实产量与品质[1]。我国草莓栽培较为普遍，由于设施草莓生产效益好，草莓生产一直呈上升趋势，发展迅速。但是目前国内外对草莓施肥方面的研究主要针对露地草莓[2-3]，设施栽培草莓氮肥吸收运转和分配方面的研究较少。本试验应用^{15}N示踪技术，主要研究了设施条件下氮肥不同施用时期与数量对氮素吸收分配与产量的影响，以期为合理施用氮肥，提高草莓产量与品质提供理论参考。

1　材料与方法

供试草莓为日本品种“丰香（*Toyonoka*）”二代脱毒苗。

1.1　盆栽试验

于 2003 年 9 月开始，在山东农业大学日光温室中采用盆栽方式进行。盆径 23cm，高 17cm，每盆装风干土 3.0 kg。土壤的基本性状如下：pH 7.8、有机质 14 g/kg、碱解氮 96.1mg/kg、速效磷 30.7 mg/kg、速效钾 200.6 mg/kg。设 4 个处理：Ⅰ. ^{15}N 尿素作基肥(9 月 5 日)施用(N 0.4 g/pot)；Ⅱ. 花前(10 月 20 日)追肥(N 0.4g /pot)；Ⅲ. 分次追肥(定植时与花前各施 N 0.2 g/pot)；Ⅳ. 分次追肥(定植时与花前各施 N 0.3 g/pot)。每个处理 6 盆。^{15}N-尿素由上海化工研究院提供，其标记丰度为 10.08%。次年 3 月 10 号对处理植株进行解析，分根、茎、叶、花、果实 5 部分，样品烘干、称重、研磨备用。草莓生长发育过程中，按常规管理疏除的老叶与花、采收的成熟果实冰冻保存，最后按相应株号测定计算。全氮用凯氏定氮法，MAT-250 型质谱仪测定^{15}N丰度值。根据各器官全氮、^{15}N丰度值以及干重计算出^{15}N在植株不同部位的分配率与利用率。

1.2　田间小区试验

2003 年 9 月至 2004 年 3 月在山东莒南进行，试验日光温室使用面积为 60m × 8m。土壤 pH 7.2，有机质 12 g/kg，碱解氮 90.5 mg/kg，速效磷 36.8 mg/kg，速效钾 185.2 mg/kg。施肥处理包括施氮量与施氮时期两因子，根据之前进行的调查与预备试验，施氮量设施 N 0、225、300 kg/hm^2 3 个水平，施肥时期与盆栽试验相似(详见表 1)。每处理 3 次重复，小区面积为 2.5m × 7.5m。试验温室除尿素因处理不同外，定植前每 666.7m^2 施用猪圈粪 3000 kg，过磷酸钙 200 kg，硫酸钾 80 kg，9 月 12 日开始定植，10 月 15 日扣棚升温。9 月中下旬草莓进入花芽分化期，10 月初进入营养生长期，10 月底进入开花坐果期，12 月中旬果实开始成熟，果实采收期持续到 3 月中旬。扣棚升温时每处理取 20 株幼苗，解剖镜下观察顶花芽分化程度，统计顶花芽完成分化的百分率。营养生长初期(10 月 3 日)、开花坐果期(11 月 6 日)，每小区中选取具有代表性的植株最新完全展开叶 12 片，采用 SPAD 速测仪测定叶绿素相对含量，水杨酸比色法测定硝酸盐浓度[4]。果实成熟后称量记载不同处理春节前后果实产量。

表 1　大田不同施氮处理（N kg/hm^2）

Table 1　Treatments of nitrogen fertilizer application in field experiment

处理时间 Treated time	处理编号 Treatment code						
	A	B	C	D	E	F	G
定植时作基肥 Applying at fix planting (12 Sep)	0	0	0	150	112.5	300	225
花前追肥 Applying before anthesis(20 Oct)	0	300	225	150	112.5	0	0

2　结果与分析

2.1　不同施氮处理对草莓^{15}N分配与利用率的影响

不同时期追氮处理(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)植株各器官^{15}N的分配率差异较大(表 2)。定植时追施氮肥，最终收获时^{15}N在营养器官中分配率较高，根、茎、叶三部分分配率累计约为 85%，生殖器官(花与果实)仅占 15%左右；花前追施氮肥，生殖器官^{15}N的分配率显著提高，达 31.3%；定植时与花前各半量追肥处理，植株营养器官的分配率约为 72.2%，低于定植时追肥处理，高于花前追施氮肥(68.7%)。这与顾曼如等[5]在苹果上的研究结果一致，即追施^{15}N的吸收分配随着生长中心的转移而转移。表 2 还看出，花前追肥处理植株的花与果实 Ndff%值显著高于定植时追肥处理以及定植时与花前各半量追肥处理，说明随施氮时间后移，肥料中的氮素在果实中的分配比例增加，导致果实全氮含量增加，这可能会对果实品质产生不良影响。

表2 不同施氮处理对草莓^{15}N分配与利用率的影响(盆栽试验)

Table 2 Effect of N treatment on ^{15}N distribution and utilization rate in strawberry(Pot exp.)

处理 Treatment	器官 Organ	干重 Dry wt. (g/plant)	全氮 Total N (%)	Ndff (%)	Ndff (mg)	N素分配率 N distribution rate (%)	N素利用率 N utilization rate (%)
I	根 Root	15.2	1.8	10.8	29.6	18.2 C	7.4
	茎 Crown	15.3	2.0	18.9	58.0	35.7 A	14.5
	叶 Leaf	12.3	2.8	14.6	50.4	31.0 B	12.6
	花 Flower	3.5	3.7	12.5	16.4	10.1 D	4.1
	果 Fruit	5.5	1.8	8.1	8.0	4.9 E	2.0
	植株 Plant	51.9			162.4		40.6 B
II	根 Root	11.8	1.9	10.2	22.8	16.7 D	5.7
	茎 Crown	13.7	1.6	14.8	32.4	23.7 B	8.1
	叶 Leaf	10.1	2.5	15.4	38.8	28.4 A	9.7
	花 Flower	5.0	2.9	17.8	26.0	19.0 C	6.5
	果 Fruit	4.4	2.6	14.7	16.8	12.3 E	4.2
	植株 Plant	45.0			136.8		34.2 C
III	根 Root	11.9	2.0	13.3	31.6	15.0 D	7.9
	茎 Crown	17.9	1.8	15.9	51.2	24.4 B	12.8
	叶 Leaf	15.3	2.7	16.7	68.8	32.8 A	17.2
	花 Flower	7.3	3.3	15.9	38.4	18.3 C	9.6
	果 Fruit	6.2	2.4	13.4	20.0	9.5 E	5.0
	植株 Plant	58.6			210.0		52.5 A
IV	根 Root	13.3	2.1	14.2	39.6	16.6 C	6.6
	茎 Crown	25.2	2.0	14.5	73.2	30.7 B	12.2
	叶 Leaf	17.9	2.8	18.6	93.0	38.9 A	15.5
	花 Flower	4.3	3.5	16.9	25.2	10.6 D	4.2
	果 Fruit	1.9	2.6	15.8	7.8	3.3 E	1.3
	植株 Plant	62.5			238.8		39.8 B

注：1. 表中数据为每处理6株草莓测定结果的平均值，氮素分配率数值后的字母反映同一处理不同器官间的差异，植株氮素利用率数值后的字母反映不同处理间的差异，不同大写字母代表 $P<0.01$。

2. Ndff% = 植物样品中^{15}N原子百分超%/肥料中^{15}N原子百分超% × 100

3. Ndff (mg) = 器官干重(g) × 器官全N含量(%) × Ndff% × 1000

4. 氮肥分配率(%) = 各器官 Ndff (mg)/植株 Ndff (mg) × 100

5. 氮肥利用率(%) = 植株 Ndff (mg)/施肥量(mg) × 100

Notes: 1. Data in the table is average of 6 replications. The letter following the data of N distribution rate show the difference of different organs in the same treatment. The letter following the data of N utilization rate show the difference of different treatments. Different capital letters stand for $P<0.01$.

2. Ndff% = ^{15}N atom excess in plant/^{15}N atom excess in fertilizer

3. Ndff (mg) = Organ dry weight(g) × organ N concentration(%) × Ndff% × 1000

4. N distribution rate(%) = Ndff (mg) of certain organ /Ndff (mg) of plant × 100

5. N utilization rate(%) = Ndff (mg) of plant/fertilizer application amount(mg) × 100

草莓各器官及植株对氮肥的利用率因器官及施肥时期而异。追施同量^{15}N，定植时追肥叶的^{15}N利用率(12.6%)明显高于花前追肥(9.7%)。草莓叶片生长和花的发育是花期前后两个营养竞争中心，^{15}N利用率和分配率的差异表明，开花时花器官对^{15}N的竞争力要强于叶片。整株收获解析，^{15}N利用率最高的为定植时与花前各半量处理(52.5%)；其次是定植时追肥(40.6%)；花前追肥的氮肥利用率(34.2%)最低(表2)。因此，氮肥分次施用可以显著提高氮素利用率。

不同施氮量处理(Ⅲ，Ⅳ)比较，高氮处理氮素利用率显著下降(表2)，其生殖器官^{15}N分配率与利用

率降低幅度犹为明显，这可能与过量施用氮肥导致植株营养生长过旺影响开花坐果有关。

2.2 施氮处理对草莓花芽分化、营养生长以及果实产量的影响

营养生长期，随定植时尿素施用量的增加，植株叶片中的硝态氮浓度与叶片 SPAD 读数逐渐升高（表 3）。其中定植时一次性施入尿素的处理 F、G 植株缓苗后即表现出营养生长旺盛，其开花时间比 E 处理晚 1 周左右，这可能由高浓度氮素推迟花芽分化引起的，解剖观察结果证实了这一点。扣棚时 F、G 两处理顶芽进入花芽形态分化期的比率比 E 处理约低 20%；定植时不施尿素处理 A、B、C 进入花芽形态分化期的比率也低于 E 处理，开花时间晚于 E 处理，这表明定植时适量施用氮素化肥对花芽分化与发育是有利的（图 1）。开花坐果期，处理 F 与 G 由于花前不再追施尿素，叶片硝态氮浓度与 SPAD 读数已显著低于花前追肥的 B、C、D、E 处理，定植时与花前各半量追肥处理 D、E 整个生育期内两项生理指标始终维持较高水平，施肥量高的处理 D 叶片硝态氮浓度极显著高于低氮处理 E，但叶片 SPAD 读数营养生长期无显著差异，开花坐果期两处理间则存在极显著差异。

氮肥处理对草莓植株生长发育的影响最终导致不同处理产量的变化。表 4 表明，草莓的早期产量（春节前产量）与总产量均以定植时与花前追施 N 112.5 kg/hm^2 产量最高，施肥量过高或单一时期施肥导致草莓产量下降。

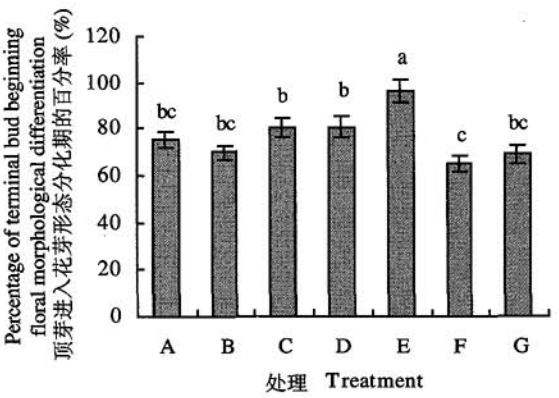

图 1　氮肥处理对花芽分化的影响

Fig.1　Effect of nitrogen treatment on differentiation of flower bud

表 3　施氮对叶片硝态氮浓度与 SPAD 读数的影响

Table 3　Effect of N treatment on leaf NO_3^- concentration and SPAD reading

处理 Treatment	营养生长期 Growth period		开花坐果期 Blooming and fruit set period	
	NO_3^- 浓度（μg/g，FW） NO_3^- Concentration	SPAD 读数 SPAD reading	NO_3^- 浓度（μg/g，FW） NO_3^- Concentration	SPAD 读数 SPAD reading
A	232.2 eD	45.3 dC	189.4 eD	44.5 dD
B	230.4 eD	44.8 dC	280.3 aA	48.0 bcB
C	234.1 eD	45.0 dC	271.5 bA	48.3 bB
D	298.2 cB	52.0 bcAB	278.1 aA	50.1 aA
E	251.6 dC	51.3 cB	249.8 cB	48.2 bB
F	325.8 aA	54.1 aA	248.6 cB	47.4 cB
G	310.2 bA	52.4 bAB	225.4 dC	47.2 cB

注：不同大小写字母分别代表 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$，下同。

Note: Different capital and small letters stand for $P < 0.01$ *and* $P < 0.05$, respectively. The same as below.

表 4　不同施氮处理对草莓果实产量的影响（kg/m^2）

Table 4　Effect of N treatment on strawberry yield

项目 Item	处理代号 Treatment code						
	A	B	C	D	E	F	G
春节前的产量 Yield before spring festival	4804.5 fD	6243 eC	6301.5 eC	8481 bB	9753 aA	6669 dC	8103 cB
春节后的产量 Yield after spring festival	6597 fE	7566 eD	7774.5 dD	10053 bB	10647 aA	9565.5 cB	9736.5 cB
总产量 Total yield	11401.5 fF	13809 eE	14076 eE	18534 bB	20400 aA	16234.5 dD	17839.5 cC

3 讨论

本研究结果表明，随氮素化肥施用期后移，^{15}N在生殖器官中的分配率明显提高，花前追肥，生殖器官占到近31.3%，但适宜的营养生长是产量形成的前提，无论从肥料利用率还是产量角度分析均以定植时与花前各半量处理最佳。因此，目前促成草莓生产中氮素化肥仅作为基肥一次性施足是不适宜的。定植时一次施足氮肥，不仅肥料利用率下降，还导致花芽分化期延迟，并且秧苗营养生长过旺，而到草莓开花坐果与果实发育期氮素供应不足，定植时作基肥处理植株开花坐果期，叶片硝态氮浓度与叶绿素相对含量与营养生长期比较有较大幅度下降的试验结果证实了这一点。有人从促进花芽分化的角度提出仅在花前追施氮肥，但本研究结果显示，促成栽培草莓定植时不施氮素化肥，对草莓的花芽分化也是不利的，并不能提高早期产量。因此根据作物生长发育特性对氮肥的使用进行合理运筹对提高氮素利用率与产量十分必要，于振文等[6]在小麦上也有类似的研究报导。

对不同氮肥处理产量差异的原因进行分析可以看出，在栽培密度相同的前提下，草莓产量主要由单株花序数、平均每花序商品果数、平均单果重3个因素决定的。尽管不同处理开花时间存在差异，但在试验采用的栽培模式下，大多数植株抽生2个有效花序，不同处理未发现显著差异；但对平均每花序商品果数、平均单果重而言，多数处理间存在显著差异，并且均以定植时与花前施N 112.5 kg/hm^{2}处理最高(表5)，这表明氮素供应过高或过低对坐果与果实发育均不利。从果实口感与外观判断，定植时与花前施N 112.5 kg/hm^{2}纯氮处理的果实品质较佳。

通过测定叶片硝态氮浓度或SPAD值进行氮素营养诊断与施肥推荐，在其它作物上取得了良好的效果[7-8]。本试验结果表明，不同氮素处理对草莓叶片硝态氮浓度与SPAD值有显著影响(表3)。进一步对叶片硝态氮浓度、SPAD值与产量进行回归分析表明，营养生长期叶片硝态氮浓度、SPAD值与产量以二次多项式拟合的相关系数较高(图2)。从拟合方程可以推算出叶片硝态氮浓度为275 μg/g，FW、SPAD值为50左右可以获得最高产量，因此可以根据营养生长期硝态氮浓度或SPAD值测定结果确定花前是否追施氮肥。当然，在促成栽培草莓生产中以叶片硝态氮浓度或SPAD值进行氮素营养诊断与施肥推荐，还需做更多重复试验进行验证。本试验草莓的栽培模式为早收型促成栽培，果实采收期从12月中旬至3月中旬，一般在2月中旬在垄沟内定植下茬作物；对高产型草莓促成栽培，果实采收期从12月下旬至5月上旬，由于果实采收期更长，其氮肥运筹模式需进一步探讨。

表5 不同施氮处理对草莓坐果与平均单果重的影响

Table 5 Effect of N treatment on strawberry setting and Average single fruit weight

项目 Item	处理代号 Treatment code						
	A	B	C	D	E	F	G
平均每花序商品果数(No.) Average commercial fruits in a inflorescence	7.1 e	8.5 d	8.7 d	10.1 b	10.6 a	9.2 c	10.1 b
平均单果重(g) Average single fruit weight	16.2 d	16.4 d	16.3 d	18.5 b	19.4 a	17.8 c	17.5 c

参考文献：

[1] 彭福田，姜远茂，顾曼如，束怀瑞. 氮素对苹果果实内源激素变化动态与发育进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2003，9(2)：208-213.
Peng F T, Jiang Y M, Gu M R, Shu H R. Effect of nitrogen on apple fruit hormonechanging trends and development[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2): 208-213.

[2] Neuweiler R. Nitrogen fertilizer in integrated outdoors trawberry production [J]. Acta Hort., 1997, 439(2): 747-751.

[3] Gariglio N F, Pilarti R A, Baldi B L. Using nitrogen balance to calculate fertilizer in strawberries[J]. Hort Techonlogy, 2000, 10(1): 147-50.

[4] 赵世杰，刘华山，董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京：中国农业科技出版社，1998. 43-51.
Zhao S J, Liu H S, Dong X C. Directory of plant physiological experiments [M]. China Agricultural Scientech Press, 1998. 43-51.

[5] 顾曼如. ^{15}N在苹果氮素营养研究中的应用[J]. 中国果树，1991(2)：46-48.
Gu M R. Utilization of ^{15}N on apple nitrogen nutrition study [J]. China Fruits, 1991(2): 46-48.

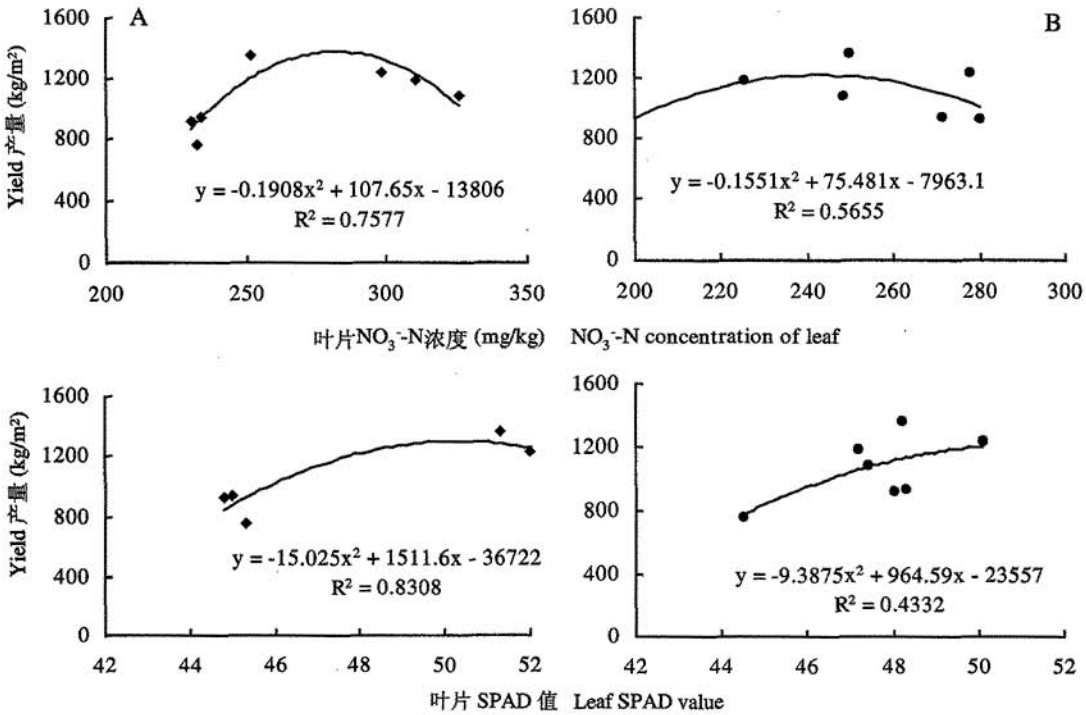

图 2　叶片硝态氮浓度、SPAD 值与产量的关系

Fig.2　Relation between leaf NO_3^- concentration, SPAD value and yield

（A：营养生长期 Growth period；B：开花坐果期 Blooming and fruit set period）

[6] 于振文，田奇卓，潘庆民，岳寿松，等．黄淮麦区冬小麦超高产栽培的理论与实践[J]．作物学报，2002，28(5)：577-585.
Yu Z W, Tian Q Z, Pan Q M, Yue S S *et al*. Theory and practice on cultivation of super high yield of winter wheat in the wheat fields of Yellow River and Huaihe River districts[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(5): 577-585.
汤丽玲，陈清，张福锁，李晓林．日光温室番茄的氮素追施与反馈调控[J]．植物营养与肥料学报，2004，10(4)：391-397.
Tang L L, Chen Q, Zhang F S, Li X L. Nitrogen topdressing and feedback control in greenhouse tomato [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(4): 391-397.
[8] 李志宏，刘宏斌，张福锁．应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究[J]．植物营养与肥料学报，2003，9(4)：401-405.
Li Z H, Liu H B, Zhang F S. Research of nitrogen nutrition status for winter wheat based on chlorophyll meter [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(4): 401-405.