

氮肥施用时期对马铃薯氮素积累与分配的影响

孙磊, 谷浏涟, 刘向梅, 罗盛国, 刘元英*

(东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:以马铃薯克新13号脱毒种薯为材料,在相同氮肥用量下,设置不同生育时期施氮的田间小区试验,通过测定主要生育期植株各器官干物重和含氮量,研究施氮时期对马铃薯不同器官氮素积累、分配及块茎产量和质量的影响。结果表明,马铃薯在营养生长期的吸氮素量仅为全生育期的1/3,块茎形成中期达到马铃薯的吸氮高峰期,块茎增长后期至成熟期块茎中的氮素主要来自营养器官的二次分配。与N 150 kg/hm²全部做基肥相比,将1/3的氮在块茎增长初期追施可使商品薯产量提高25%($P < 0.05$),达到30.01 t/hm²。氮肥利用率达到44%($P < 0.05$)。适宜氮肥用量下,基肥和追肥的合理分配是获得马铃薯高产优质的重要条件,基肥氮不足,氮肥集中在苗后施用,则易导致植株贪青。试验在肥力中等的土壤种植马铃薯,150 kg/hm²氮素用量条件下,将2/3的氮作基肥施用,1/3的氮在块茎增长初期追施,较有利于养分在块茎中的分配,同时也能获得最高的块茎产量。

关键词:马铃薯;氮素管理;氮素积累;氮素分配;产量

Effects of N Fertilizer Application Time on N Accumulation and Distribution in Potato Plants

SUN Lei, GU Liulian, LIU Xiangmei, LUO Shengguo, LIU Yuanying*

(Northeast Agriculture University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: The study was carried out to analyze the characteristic of N accumulation and distribution in potato plants with the same N application rate but different application time, with cv. Kexin 13 used in the field experiments. Four treatments were conducted with the same N application rate but different application patterns. The N needed by potato plants in vegetative growth stage was only 1/3 of the total N needed over the whole growth period. The potato plants needed much more N from the tuber initiation stage and reached the peak value at the middle tuber bulking stage. After that the differences of the N accumulation among different organs came from the second allocation of N stored in plants. Combination of pre-plant and in-season N application was necessary to increase N uptake efficiency and produce higher yield and higher quality potato tubers. Compared to all 150 kg N/ha applied at planting, the 100 N kg/ha applied at planting plus 50 kg N/ha applied at early tuber bulking stage increased the marketable tuber yield by 25% ($P < 0.05$) and increased the N use efficiency (NUE) by 19 percentage points. Optimal N application should meet the plants need in different growth stage and keep the balance between vegetation growth and reproduction growth. Insufficient basal N application combined with dressing large amount of N at emergence and early tuber bulking stage would cause the plants remaining green when harvested. So, on loamy soil with medium level of fertility, 2/3 of the total N 150 kg/ha should be applied as basal fertilizer and the rest 1/3 dressed at early tuber bulking stage.

Key Words: potato; N management; N accumulation; N distribution; yield

收稿日期: 2011-09-09

基金项目: 公益性行业科研专项 (201103003)。

作者简介: 孙磊(1974-),女,副教授,博士,主要从事马铃薯养分管理的研究工作。

*通信作者(Corresponding author): 刘元英,教授,主要从事作物养分管理, E-mail: yuanyingl@163.com。

马铃薯是世界上最重要的非谷类粮食作物之一, 也是有重要价值的工业原料作物和饲料作物。发展马铃薯产业对充分发挥区域比较优势, 缓解我国粮食压力, 实现食物多样化, 克服单一保障粮食安全具有重要作用。我国马铃薯种植面积和总产量居世界第一位, 但是单产却排在第 82 位^[1], 严重限制了我国马铃薯产业的发展。

全球 2/3 粮食增产要靠提高单产来实现, 我国三大主要粮食作物的平均单产均高于世界平均水平, 进一步增产的空间较小。世界发达的马铃薯主产国平均单产为 45 t/hm², 最高可达 65 t/hm², 而中国仅为 14 t/hm², 因此具有很大的增产空间。

作物单产的提高有 50% 归功于合理施肥, 然而, 马铃薯的养分管理在我国尚未全面展开^[2]。氮肥是马铃薯生产中施用量最多的肥料, 氮素供应是否合理不仅影响马铃薯的产量和品质, 同时影响资源的高效利用和环境污染。近年来, 马铃薯过量施用氮肥造成的环境污染越来越受到关注, 解决这一问题最有效的途径就是提高马铃薯的氮肥利用率, 因此马铃薯的氮肥施用受到全球的广泛关注^[3-8]。为了提高氮肥的利用率, 人们通过育种方法选育氮高效品种^[9], 通过田间耕作提高土壤氮的利用率^[10], 根据土壤和当季作物的养分状况进行实时监控确定氮肥施用量^[7,11]。氮肥用量不足, 不但造成减产, 同时影响其他养分的吸收^[12], 而过量施用氮肥, 则造成马铃薯地上部徒长, 并不能有效促进块茎的生长^[13]。过量施用氮肥还能增加块茎中的茄碱^[14]及硝酸盐^[15-16]的含量。2007 年 Zebarth 等^[17]将最佳养分管理(Nutrient best management practices, BMP)理念引入马铃薯生产, 旨在通过合理施肥提

高马铃薯产量和品质, 减少氮肥损失和环境风险。最佳养分管理需要根据作物对氮素需求规律决定氮肥的施用量和施用时期。我国马铃薯生产中氮肥施用时期与马铃薯生育时期不符, 是导致马铃薯产量低、氮肥利用率低的重要原因之一。

本试验通过设置不同的氮肥管理模式, 研究不同生育时期氮在马铃薯各器官的积累及分配规律, 确定马铃薯高产高效的氮肥施用模式, 为马铃薯合理施肥提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2010 年在东北农业大学香坊试验站进行。土壤类型为黑土, 有机质含量 24.8 g/kg, 碱解氮 126.7 mg/kg, 速效磷 81 mg/kg, 速效钾 174 mg/kg, pH 7.22。

1.2 供试品种

克新 13 号马铃薯脱毒种薯。

1.3 试验设计

试验共设了 4 个处理, 4 次重复, 拉丁方设计, 每小区 7 垄, 垄距 70 cm, 垄长 12 m, 株距 30 cm, 小区面积 58.8 m², 每小区除去两个边行和地头各 1 m 外, 每垄留 3 m 测产, 其余 7 m 取样。5 月 17 日播种, 9 月 16 日收获。全部的磷、钾肥播种时种下条播, 氮肥做种肥施用时期种下条播, 追肥施用时期侧开沟施用, 肥料施用时期及施用量见表 1。同时, 为计算氮肥利用率设无氮处理区 70 m²。

1.4 取样及测定方法

无氮区仅在收获时取样, 其他处理分别在出苗后 30 d(营养生长期), 42 d(块茎形成期), 54 d

表 1 肥料施用量及氮肥施用时期(kg/hm²)

Table 1 Rate of fertilization and timing of nitrogen fertilizer application

处理 Treatment	施用量 Application rate			各生育时期氮肥施用量 Nitrogen fertilizer application at various stage			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	播种 Planting	苗期 Emergence	块茎形成期 Tuber initiation	块茎增长初期 Early tuber bulking
T1	150	90	150	150	0	0	0
T2	150	90	150	100	0	50	0
T3	150	90	150	100	0	0	50
T4	150	90	150	0	100	0	50
N0	0	90	150	0	0	0	0

注: T1-T4 分别代表 4 个不同氮肥施用模式, N0 代表无氮处理, 下同。

Note: T1-T4 represent four N fertilization patterns, and N0 represents the treatment without N fertilizer. The same bellow.

(块茎增长初期), 70 d(块茎增长中期), 90 d(块茎增长后期) 和 101 d(成熟期) 取样。在每小区选取长势一致的植株 6 株带回室内, 从中选取 4 株, 将植株按叶片、地上茎和块茎分开洗净, 称鲜重, 105℃杀青 30 min, 75℃烘至恒重, 粉碎后待用。植株样品经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 用 BRAN LUEBEE 连续流动分析仪测定含氮量。

收获时每小区取 10.5 m² 测产, 取 10 株考种, 分别统计单株块茎数和单株块茎重及 ≥75 g 的商品薯个数和重量。

1.5 数据处理

数据分析采用 SPSS 软件分析, 新复极差法进行多重比较

2 结果与分析

2.1 氮肥施用时期对不同生育时期马铃薯各器官含氮量及积累量的影响

由图 1 可见, 在营养生长期, 马铃薯吸收的氮素主要用于茎叶的生长, 且需求量并不高, 仅为全生育期需求总量的 1/3。进入块茎形成期后, 由于营养生长和生殖生长并进, 植株进入了对氮素的需求高峰, 并在块茎增长中期达到峰值, 全株的氮积累量达到 170 kg/hm² 左右。此后各器官氮素积累量的差异主要来自于植株体内氮素的二次分配。由于马铃薯叶片衰老脱落, 前期枯死叶片可以较完全收集到, 后期部分枯死叶片难以完全收集, 所以块茎增长后期和成熟期氮积累量不包括未收集到的枯死叶片。

在营养生长期马铃薯植株茎叶中的氮以积累为

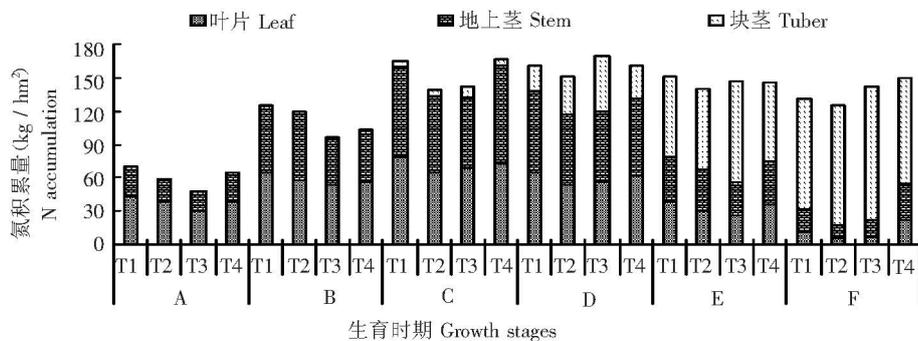
主, 进入块茎增长后期, 叶片(图 2)和茎秆(图 3)中的含氮量开始下降, 氮素开始向块茎中转移。随着块茎的形成, 块茎逐渐成为植株氮素的重要分配库, 但随着块茎增长后期的到来, 块茎增长速率大于氮素积累速率, 所以由块茎形成期到块茎增长初期出现了块茎含氮量降低的现象, 但从块茎增长初期开始块茎中的含氮量稳中有升(图 4)。叶片、茎秆和块茎含氮量的这种增减趋势一致持续到块茎收获。虽然马铃薯不同器官的含氮量随生育期的变化而变化, 但各器官的含氮量始终是叶片 > 茎秆 > 块茎。

由图 1 可见, 处理 1 在块茎增长初期就达到了氮素积累高峰, 而其余 3 个处理的氮素积累峰值均出现在块茎增长中期。这说明, 适当增加后期氮素供应, 可以在一定程度上延长植株对环境氮素的吸收时间, 并使养分吸收高峰与植株生长高峰相吻合。从营养生长期到收获期, 处理 3 全株的氮积累量虽然不是最高, 但是块茎中的氮积累量始终高于其他处理。处理 1 和处理 4 的氮素总积累量虽然较高, 但主要是由于茎叶中的积累量较高造成的。

不同处理块茎中的含氮量差异不显著, 茎叶中含氮量从块茎增长初期开始均以处理 4 为最高, 与其他处理达到 5% 的差异显著水平。

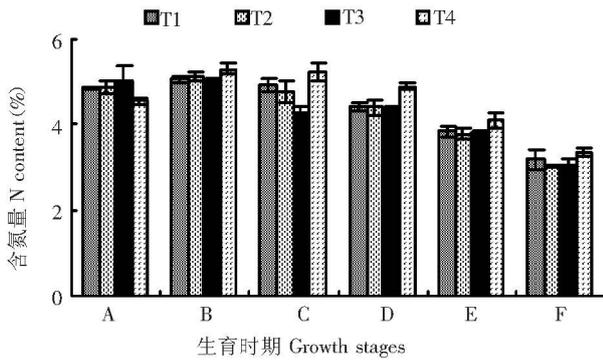
2.2 氮肥施用时期对马铃薯各器官的氮素分配及氮肥利用率的影响

随着块茎的形成, 氮素在不同器官的分配比例也逐渐发生变化, 氮素在茎叶中的分配比例逐渐降低, 在块茎中的分配比例不断提高, 并逐渐取代地上部茎叶, 成为氮素的主要储存器官。收获时, 全株 2/3 以上的氮主要分配在块茎中。



注: A-营养生长期, B-块茎形成期, C-块茎增长初期, D-块茎增长中期, E-块茎增长后期, F-成熟期, 下同。
 Note: A-vegetative growth stage; B-tuber initiation; C-early tuber bulking; D-middle tuber bulking; E-late tuber bulking; F-maturity. The same below.

图 1 氮肥管理对不同生育时期马铃薯植株氮积累量的影响
 Figure 1 Effects of N management on N accumulation in potato plants at different growth stages



注: 误差线代表标准误。

Note: Bars indicate standard error.

图2 氮肥管理对马铃薯叶片含氮量的影响
Figure 2 Effects of N management on N content in potato leaves

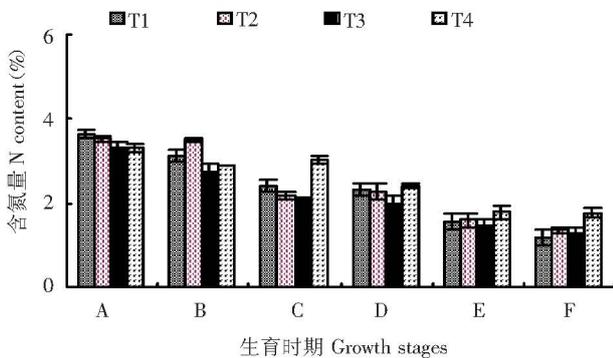


图3 氮肥管理对马铃薯茎秆含氮量的影响

Figure 3 Effects of N management on N content in potato stems

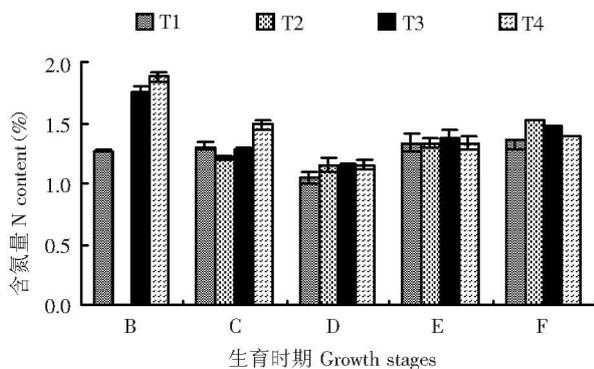


图4 氮肥管理对马铃薯块茎含氮量的影响

Figure 4 Effects of N management on N content in potato tubers

氮素运筹对氮在植株不同器官中的分配比例有一定的影响。由图5可见,成熟期之前,处理1叶片和茎秆中氮的分配比例始终高于其他处理,但块茎中氮的分配比例却一直处于最低水平,而处理3叶片和茎秆中氮的分配比例虽然一直处于最低水平,但是块茎中氮的分配比例始终高于其他处理。收获时,处理3块茎中的氮占植株总氮量的84%,而处理1和处理4分别为76%和63%,与处理3的差异达到5%显著水平。

虽然各处理氮肥施用总量相同,但由于处理1将全部氮肥作为基肥一次施用,导致前期营养生长过旺,生长中心未能及时转移,在块茎增长期茎叶仍然具有较强的氮素竞争力,导致养分没有充分转移到块茎中。处理3将2/3的氮肥作为基肥施用,前期氮肥用量得到控制,使营养体不致生长过旺,随着块茎的形成,生长中心及时由茎叶转移到了块茎。在块茎增长初期追施的氮肥,既满足了植株快速生长期对氮素的大量需求,又充分发挥了块茎的库功能,促进了氮向块茎中的转移,增加了氮在储藏器官中的积累。处理4前期缺乏氮素投入,造成植株生育前期氮饥饿,而苗期和块茎增长初期追施的氮肥,使氮饥饿植株在短期内获得大量氮素营养,导致茎叶贪青,植株延迟成熟,抑制了氮在块茎中的分配。收获时植株体内37%的氮分配在营养体中,为处理2和3的2倍。

合理施用氮肥,可在提高氮肥利用率的基础上,提高马铃薯的产量和质量。由表2可见,处理1虽然有较高的块茎产量,但由于商品薯率较低,且块茎含氮量较低,所以氮肥的利用率仅为24.9%。处理3的块茎产量与其他处理差异不显著,但由于商品薯率高,且块茎的含氮量高,因而获得了较高的肥料利用率(44.0%),与其他处理达到5%的差异显著水平。处理3在块茎增长初期追施的氮肥,满足了块茎增长期植株对氮素的大量需求,促进了块茎的增长,因而获得了最高的商品薯率;而处理1虽然在块茎形成期形成了较多的块茎,但由于前期茎叶生长过旺,后期氮肥未得到及时补充,制约了后期的块茎膨大,导致商品薯率较低。由于不同处理植株氮素积累量及块茎产量存在的差异,每形成1000 kg块茎所需要的氮素营养,处理3最低,为4.6 kg,处理4最高,为6.0 kg,差异达到5%显著水平。

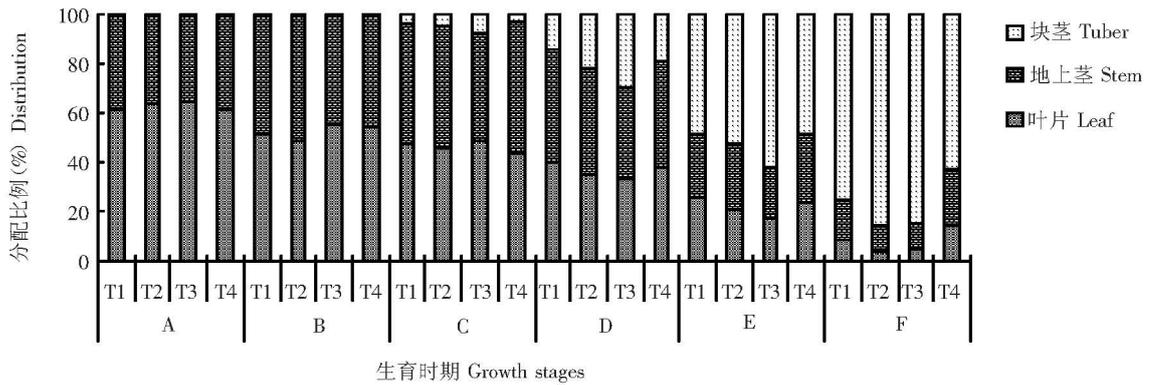


图 5 不同生育时期马铃薯各器官的氮素分配比例

Figure 5 Effects of N management on N distribution in potato organs

表 2 不同处理对马铃薯产量及氮肥利用率的影响

Table 2 Effects of N management on yields and NUE of potato

处理 Treatment	块茎产量 (t / hm ²) Tuber yield	商品薯产量 (t / hm ²) Marketable tuber yield	商品薯率 (%) Marketable tuber percentage	氮肥利用率 (%) NUE	形成 1 000 kg 块茎的需氮量 N needed for 1 000 kg tuber
T1	35.95 a	23.95 b	64.8 c	24.9 c	5.0 b
T2	33.04 a	24.21 b	74.0 ab	35.8 ab	4.9 b
T3	38.04 a	30.01 a	79.2 a	44.0 a	4.6 b
T4	31.91 a	22.51 b	70.2 bc	27.6 bc	6.0 a

注: 不同小写字母代表 0.05 显著水平。Note: Small letters means significance at 0.05 level.

3 讨论

包括氮肥施用量、施用时期及施用方法在内的氮素管理是提高氮肥利用率、马铃薯产量和质量的有效措施。只有掌握了马铃薯对氮素的需求规律, 才能进行合理的氮肥管理。

Vos^[8]认为, 马铃薯播种后 28-42 d 以及出苗 60 d 以后, 基本不从土壤中吸收氮素营养, 氮素供应应该主要集中在出苗后 12~60 d, Alva^[9]也认为, 在块茎增长长期保证土壤中有足够的有效氮是提高马铃薯产量的重要因素。Rose 等^[20]在表土有机质含量为 0.9~1.3 g/kg 的砂壤土上种植马铃薯, 基肥不施氮, 150 kg/hm² 的 N 全部在苗期一次性施入, 得到 30 t/hm² 的产量。Rosen 等^[21]在表土有机质含量为 15~23 g/kg 砂壤土中种植布尔班克, 基肥施入 38 kg/hm² 的启动氮, 在苗期和中耕时分两次共追施 235 kg/hm² 的氮, 获得了 62 t/hm² 的产量。但 Greenwood 等^[22]的研究表明, 马铃薯在营养生长期吸收的氮占全生育期氮量的 1/2, 在块茎增长后期仍有氮的吸收。Iritani^[23]也建议应将总氮

量的 1/3 或 1/2 在播种时施用, 余下的氮素在生长发育过程中分次施用。Zelalem 等^[24]将 138 kg/hm² 的 N 一半做基肥施入, 一半在播种后 45 d 施入, 每公顷获得 46.5 t 的产量。然而 Joern 等^[25]在试验中发现, 马铃薯产量随底肥氮施入量的增加而增加, 生育期追肥并没有明显的增产作用。

本研究发现, 适当控制马铃薯前期氮肥投入, 可防止营养体生长过旺, 有利于马铃薯植株生长中心的适时转移, 在块茎增长初期适量追施氮肥可满足块茎增长长期植株对氮素的大量需求, 促进块茎膨大, 延长植株茎叶持绿时期, 有利于块茎中养分和干物质的积累及产量的形成。而将氮肥做为基肥一次施入, 虽然在营养生长期植株氮素养分充足, 并在块茎形成期形成较多的块茎, 但由于营养体生长过旺, 消耗大量养分, 导致块茎增长长期植株养分不足, 块茎增长受到抑制, 降低商品薯率。但如果基肥中氮肥施用不足, 即使在苗期和块茎增长初期补充氮肥, 也会因为苗前植株氮素饥饿, 补充的氮素可造成氮饥饿的植株对氮进行奢侈吸收, 导致植株贪青, 推迟生长中心

的转移, 不利于养分和干物质在块茎中的分配, 降低马铃薯的产量。

试验结果表明, 在肥力中等的土壤上种植马铃薯, 在 30~37 t/hm² 的产量条件下, 每公顷植株大约吸收 160~170 kg 的 N, 每形成 1 000 kg 的块茎大约需要 5~6 kg 的 N。马铃薯在营养生长期对氮素需求不高, 仅为全生育期需求量的 1/3, 随着块茎的形成, 马铃薯进入对氮素的需求高峰, 并在块茎增长中期达到峰值, 块茎增长后期至成熟期各器官的氮素变化主要来自植株体内氮素的二次分配。植株吸收氮的时间可随着养分供应状况适当延长。

在肥力中等的土壤种植马铃薯, 每公顷施氮 150 kg, 将 2/3 的氮做基肥施入, 1/3 的氮在块茎增长初期追施, 可比将氮肥做基肥一次施用的商品薯产量提高 25%, 氮肥利用率提高 19 个百分点, 达到 44% ($P < 0.05$)。在施足基肥的基础上, 氮肥分期施用可显著提高氮肥利用率和商品薯率 ($P < 0.05$), 但分期施用时期不合理, 也可导致马铃薯产量降低, 并使形成单位块茎产量的氮素需求量增加。由此可见, 根据马铃薯在不同生育时期对氮素的需求规律, 合理分配氮素供应, 是提高马铃薯产量和氮肥利用率的有效途径。

[参 考 文 献]

- [1] 谢开云, 屈冬玉, 金黎平, 等. 中国马铃薯生产与世界先进国家的比较[J]. 世界农业, 2008, 349(5): 35-41.
- [2] 刘效瑞, 伍克俊, 刘荣清, 等. 氮磷钾肥配施对马铃薯增产增收的效果[J]. 马铃薯杂志, 1994(4): 214-217.
- [3] 刘克礼, 高聚林, 孙会忠, 等. 马铃薯源的供应能力与库容量的关系[J]. 中国马铃薯, 2004, 18(1): 4-9.
- [4] 张朝春, 江荣风, 张福锁, 等. 氮磷钾肥对马铃薯营养状况及块茎产量的影响[J]. 土壤肥料科学, 2005 21(9): 279-284.
- [5] 聂向荣, 樊明寿. 马铃薯氮素营养状况的 SPAD 仪诊断[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(4): 203-208.
- [6] Ankumah R O, Khan V, Mwanba K, et al. The influence of source and timing of nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of four sweet potato cultivars [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003, 100: 201-207.
- [7] Rodrigues M A, Coutinho J, Martins F, et al. Quantitative side-dress nitrogen recommendations for potatoes based upon crop nutritional indices [J]. European Journal Agronomy, 2005, 23: 79-88.
- [8] Kumar P, Pandey S K, Singh B P, et al. Influence of source and time of potassium application on potato growth, yield, economics and crisp quality [J]. Potato Research, 2007, 50: 1-13.
- [9] Zebarth B J, Tam T R, Jong H de, et al. Nitrogen use efficiency characteristics of Andigena and diploid potato selections [J]. American Journal of Potato Research, 2008, 85: 210-218.
- [10] Henriksen C B, Rasmussen J, Molgaard J R. Potato tuber yield and quality and soil inorganic nitrogen as affected by timing of ridging with and without catch crops [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 94: 36-46.
- [11] Smiti A B, Stoorvogel J J, Wossink G A A. A methodology to support the decision to invest in spatially variable nitrogen fertilization [J]. Netherlands Journal of Agricultural Science, 2000, 48: 273-290.
- [12] Haase T, Schuler C, Hess J. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing [J]. European Journal Agronomy, 2007, 26: 187-197.
- [13] Alva A. Effects of pre-plant and in-season nitrogen management practices on tuber yield and quality of two potato cultivars [J]. Journal of Vegetable Crop Production, 2004, 10 (2): 43-60.
- [14] Czopek A T, Szyszka M J, Lisinska G. Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 706-711.
- [15] Santamaria P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86: 10-17.
- [16] Wiera S, Andrzej Z C, Katarzyna P. Effects of various fertilization systems on the dynamics of nitrate (v) concentrations in potato tubers after harvest and during storage [J]. Poland Journal of Nature Science, 2007, 22(1): 15-22.
- [17] Zebarth B J, Rosen C J. Research perspective on nitrogen BMP development for potato [J]. American Journal of Potato Research, 2007, 84: 3-18.
- [18] Vos J. Split nitrogen application in potato: effects on accumulation of nitrogen and dry matter in the crop and on the soil nitrogen budget [J]. Journal of Agriculture Science, 1999, 133: 263-374.
- [19] Alva A. Potato nitrogen management [J]. Journal of Vegetable Crop Production, 2004, 10(1): 97-132.
- [20] Rose M, Shillito A, Dennis J, et al. Yield response of potato to spatially patterned nitrogen application [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 129: 107-116.
- [21] Rosen C J, Bierman P M. Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization [J]. American Journal of Potato Research, 2008, 85: 110-120.
- [22] Greenwood D J, Neeteson J J, Draycott A. Quantitative relationships for the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen content, dry weight and aerial environment [J]. Plant and Soil, 1986, 91: 281-301
- [23] Iritani W M. Seed productivity: stem numbers and tuber set [C]. Proceedings of Annual Washington State Potato Conference. 1978, 17: 1-4.
- [24] Zelalem A, Tekalign T, Nigussie D. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to different rates of nitrogen and phosphorus fertilization on vertisols at Debre Berhan, in the central highlands of Ethiopia [J]. African Journal of Plant Science, 2009, 3(2): 16-24.
- [25] Joern B C, Vitosh M L. Influence of applied nitrogen on potato. Part II: recovery and partitioning of applied nitrogen [J]. America Potato Journal, 1995, 72: 73-84.