

不同施肥措施对罗马花椰菜产量、品质及氮平衡的影响

敦惠宁^{1,2}, 吴建新², 左强², 薛世川¹, 邹国元², 谷佳林²

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 北京市农林科学院 植物营养与资源研究所, 北京 100097)

摘要:在京郊保护地菜田条件下,研究了常规施肥(CON)、优化+填闲+调 C/N(OCC)、施用控释肥(CRF1, CRF2)等施肥措施对罗马花椰菜产量、品质和土壤无机氮残留的影响,并对土壤-作物体系氮素平衡进行了分析。结果表明:不同施肥措施使罗马花椰菜增产 14.75%~21.54%,吸氮量增加 12.65%~15.51%。施肥处理间罗马花椰菜可食部分硝酸盐含量由高到低依次为:常规施肥>优化+填闲+调 C/N>控释肥 1>控释肥 2。收获后,0~200 cm 土体无机氮浓度变化为:常规施肥>控释肥 1>控释肥 2>优化+填闲+调 C/N。与常规施肥相比,优化+填闲+调 C/N 和施用控释肥处理降低了土壤中无机氮的累积,分别减少土壤-作物体系的氮素盈余 45.17%、21.40%和 31.73%。减量施氮、种植填闲作物、施用秸秆及施用缓控释肥等是提高氮素利用率,减少氮素损失的有效措施。

关键词:罗马花椰菜;控释肥;产量;硝酸盐;氮素平衡

中图分类号:S 635.306⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)15-0153-05

近年来,随着生活水平的提高,人们对蔬菜的需求和质量要求也越来越高。设施栽培作为终年可以种植作物的栽培形式,能够形成蔬菜的反季节生产,大幅度地提高蔬菜产量和农民的经济收入^[1]。但在实际生产中,由于缺乏合理养分管理措施和技术指导,菜农盲目施肥(尤其是过量施用氮肥)现象日益普遍^[2-3],不仅影响了保护地生产可持续发展,也对生态环境造成了安全隐患^[4]。对北京市平原农区地下水中硝态氮的调查表明,43 个保护地菜田浅层地下水样本平均含量为 72.42 mg/L,超标率达 100%,研究发现,该现象与氮肥的过量施用密切相关^[5]。有研究表明,过量的氮肥投入只能成为一种经济的消耗^[6],不仅没有促进蔬菜对养分的吸收利用,反而降低了氮肥的利用率,其结果导致作物营养失调、果实硝酸盐含量升高、品质下降和病虫害易发等不良现象^[7],严重威胁设施蔬菜生产的可持续发展。为了实现设施蔬菜生产的高产、优质、安全无公害和土壤的可持续利用,进行设施菜地合理施肥措施的研究势在必行。该试验以土壤肥力较高的京郊保护地菜田为研

究对象,定位研究了常规施肥,优化+填闲+调 C/N、施用控释肥等措施对保护地蔬菜产量、品质的影响,同时分析了作物对氮素的吸收、土壤无机氮残留和淋洗状况,以期为设施菜地肥料减施增效、提升土壤质量和保障农田可持续利用提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

罗马花椰菜田间试验于 2009 年在北京市房山区韩村河农业技术开发中心 10 号温室进行。该地区为暖温带半湿润季风性大陆气候,年均气温 11℃,年均降雨量 635 mm,夏季多雨,降雨量占全年的 76%,年平均无霜期 185 d,日照时数 2 800 h。试验地土壤类型为褐土,质地为中壤,2009 年试验开始前 0~20 cm 土壤基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the experiment soil

有机质 OM	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	速效磷 Available P	速效钾 Available K	pH
/g · kg ⁻¹	/g · kg ⁻¹	/g · kg ⁻¹	/g · kg ⁻¹	/mg · kg ⁻¹	/mg · kg ⁻¹	(2.5 : 1)
56.28	3.50	1.30	20.00	175.66	656.55	7.80

1.2 试验材料

供试作物为罗马花椰菜,品种为“将军”。供试肥料为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 15%)、硫酸钾(含 K₂O 50%)、控释肥(树脂包膜控释尿素:含 N 41%,释放期 90 d,北京首创新型肥料制造有限公司生产)、商品鸡粪(N 1%、P₂O₅ 0.95%、K₂O 0.86%)、小麦秸秆(N 0.62%、P 0.07%、K 1.02%)。

第一作者简介:敦惠宁(1985-),女,河北石家庄人,硕士,现主要从事农业面源污染方面的研究工作。E-mail:dun050071@163.com.

责任作者:左强(1972-),男,硕士,副研究员,现主要从事植物营养与肥料研究工作。E-mail:zql8189@163.com.

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(20100314);北京市科技课题资助项目(D1011050465100002)。

收稿日期:2012-05-23

1.3 试验方法

试验为肥料定位试验,截至该茬罗马花椰菜试验,先前已种植 6 茬作物,具体品种及生长日期(年.月.日)如下:茼蒿(水果茼蒿):2007.10.26 至 2008.3.15;番茄(硬粉 18):2008.4.15 至 2008.7.19;甜玉米(甜玉 4 号):2008.7.22 至 2008.10.25;球茎茴香(荷兰球茎茴香):2008.10.27 至 2009.2.5;彩色甜椒(10 号红椒):2009.2.8 至 2009.7.14;甜玉米(甜玉 4 号):2009.7.16 至 2009.9.23。

试验设 5 个处理,每个处理 3 次重复,小区面积 $(6.5 \times 4) \text{ m}^2$,随机区组排列,试验方案见表 3。设计用量中常规施肥量参照北京市土壤肥料站对京郊保护地菜田施肥量调查数据而定,优化施肥量参考北京市土壤肥料站的推荐施肥量,2 个控释肥处理氮素施用量分别为推荐施肥量的 75%和 50%。土壤 C/N 调节通过施用粉碎的小麦秸秆来实现。试验所用控释肥、磷肥、有机肥、秸秆、常规施肥处理的钾肥均作为基肥一次性施入,常规施肥处理氮肥的 30%作为基肥,其余 70%在作物生长期平均 3 次追肥施入,优化+填闲+调 C/N 处理氮、钾肥、2 个控释肥处理的钾肥 25%作为基肥,其余

表 3

不同试验处理的肥料用量

Table 3

Fertilizer rates of different experimental treatments

kg/hm²

处理 Treatments	设计用量 Design usage				实际用量 Actual usage					
	有机肥	秸秆	N	化肥 P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥	秸秆	N	化肥 P ₂ O ₅	K ₂ O
空白(CK)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
常规施肥(CON)	7 500	0	360.0	150	90	7 500	0	108.0	150	90
优化+填闲+调 C/N(OCC)	7 500	7 500	270.0	90	180	7 500	7 500	67.5	90	45
控释肥 1(CRF1)	7 500	0	202.5	90	180	7 500	0	202.5	90	45
控释肥 2(CRF2)	7 500	0	135.0	90	180	7 500	0	135.0	90	45

1.4 项目测定

植株收获后,测定其经济产量、废弃物产量、植株养分含量及可食部分硝酸盐含量。在植株收获的同时,各小区按 20 cm 为 1 层,分 10 层取土样,测定 0~200 cm 土壤养分状况。硝酸盐测定采用紫外吸收法;植株样品烘干粉碎后用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解,凯氏定氮法测定植株全氮含量。土壤无机氮用 0.01 mol/L CaCl₂ 浸提,流动注射分析仪测定。每处理各指标均为 3 次重复的平均值。

1.5 数据处理

氮肥利用率(%)=(施氮区吸氮量-无氮区吸氮量)/施氮量×100; N_{min} 累积量(kg/hm²)=土层厚度(cm)×土壤容重(g/cm³)×N_{min} 浓度(mg/kg)/10;氮的表观损失根据氮平衡模型计算,根据氮素输入输出平衡原理,氮表观损失=氮输入-氮输出;氮输入包括起始无机氮、化肥氮、有机肥带入氮、秸秆带入氮、灌溉水带入氮和矿化氮 6 项,氮输出包括作物吸收、残留无机氮和表观损失 3 项。其中,氮素的矿化是根据不施氮区作

75%作物生长期平均 3 次追肥施入。优化+填闲+调 C/N 处理在夏季保护地敞篷期间种植填闲作物甜玉米,其余休闲,各处理在休闲/填闲期均不施用任何肥料。

在罗马花椰菜生长季,北京地区阴天及雨雪天气较频繁,为保证作物正常生长,降低冻害、病害的发生风险,温室未能正常通风透气,温室内湿度较大。因此,整个生长季只在作物生长前期进行少量灌溉,从而未进行追肥,只有底肥的投入。具体灌溉日期及灌溉量见表 2,实际施肥量见表 3。

罗马花椰菜于 2009 年 9 月 27 日定植,2010 年 1 月 17 日收获,株行距为 30 cm×60 cm,种植模式为目前京郊大棚种植中普遍流行的节水灌溉方式“小高畦”种植,作物在垄上种植,在垄背上进行灌水。

表 2 生长期内灌溉时间及灌溉量

Table 2 The irrigation time and amounts in growth period

作物 Crops	灌溉时间 Irrigation time/年-月-日	灌溉方法 The method of irrigation	灌溉量 Irrigation amounts/mm
罗马花椰菜	2009-09-27	畦灌	40.60
罗马花椰菜	2009-10-15	畦灌	36.30
罗马花椰菜	2009-11-13	畦灌	36.30

物吸氮量与试验前后土壤无机氮的净变化来加以估算的,不考虑氮肥的激发效应,假定施肥处理的土壤氮矿化量与不施氮区相同。土壤氮素净矿化=不施氮肥区地上部吸氮量+不施氮肥区土壤残留无机氮量-不施氮肥区起始无机氮量。数据均采用 Excel 和 SAS 软件进行统计分析,多重比较采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 施肥对罗马花椰菜生长和氮素吸收的影响

由表 4 可知,施肥能够增加罗马花椰菜可食部分产量,与 CK 相比,CON、OCC、CRF1 及 CRF2 处理分别增加了 2 456、1 902、2 777、2 385 kg/hm²,增产率分别为 19.05%、14.75%、21.54%和 18.50%,均达到了显著水平,说明施肥对罗马花椰菜具有显著的增产效应。但各施肥处理之间产量在 14 794~15 669 kg/hm²,无显著差异。其中 CON 处理在只施用底肥的情况下,产量仍达到 15 348 kg/hm²,表明当地的常规施肥量偏大,由于常年大量施肥,土壤累积了较高的养分,减少 70%的施氮量对罗马花椰菜的生长未产生不利的影响。

施肥能够增加罗马花椰菜地上部氮素吸收量,各施肥处理可食部分氮素吸收量均显著高于 CK,分别增加

10.64%、15.59%、19.26%和 14.84%,全株氮素吸收量则以 CON 处理最高,达到 168.78 kg/hm²。

表 4 不同处理下罗马花椰菜产量、吸氮量及氮肥利用率

Table 4 Nutrient uptake and nutrient recovery efficiency of Romanesco Broccoli with different fertilizer treatments

处理 Treatments	地上部生物量 The biomass of aboveground/kg · hm ⁻²	可食部 The edible	茎叶 Stem	氮素吸收量 Total N uptake/kg · hm ⁻²	可食部 The edible	茎叶 Stem	全株 All the strains	氮肥利用率 N use efficiency/%
CK	12 892b		34 185c	68.45b		77.66a	146.11b	—
CON	15 348a		37 741a	75.73a		93.04a	168.78a	12.38
OCC	14 794a		36 631ab	79.12a		86.10a	165.22ab	10.11
CRF1	15 669a		35 718bc	81.63a		82.96a	164.60ab	6.66
CRF2	15 277a		34 936bc	78.61a		89.72a	168.33a	10.58

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达 5%显著水平,下同。

Note: Values followed by different letters mean significant difference among different treatments at 5% level. The same below.

氮肥利用率反映了作物对肥料氮的吸收利用情况,对罗马花椰菜生长季的氮肥利用率统计结果见表 4,其利用率在 6.66%~12.38%,这意味着 85%以上的氮素投入没有被作物当季利用,而是以各种形式损失或储存在土壤中,不仅造成肥料的浪费,还增加了环境污染的风险。CON 和 OCC 2 个施肥处理当季实际施氮量相比设计施氮量有 70%~75%的减少,其利用率相对较高,原因可能是作物生长过程中,虽然没有后续氮素的施入,但是作为基肥施入的氮肥及前茬残留的养分在一定程度上满足了作物生长所需,同时,灌溉次数较少,通过淋失等损失量较小,从而使其利用率上升。

2.2 不同施肥处理对罗马花椰菜硝酸盐含量的影响

与 CK 相比,施肥处理的可食部分硝酸盐含量增加了 5.15%~13.11%(图 1)。施肥处理间罗马花椰菜可食部分硝酸盐含量由高到低依次为:CON>OCC>CRF1>CRF2,其中 CRF2 处理可食部分硝酸盐含量最低为 242.01 mg/kg,显著低于常规施肥处理,与 OCC 和 CRF1 处理间差异不显著。出现这种结果的原因可能是因为控释肥中的氮素释放缓慢均匀,不会导致罗马花椰菜对氮素的快速大量吸收,从而减少罗马花椰菜中硝酸盐的积累量;同时控释肥的控释效果使得罗马花椰菜对氮素更充分地加以利用,体内的硝酸盐被不断同化,从而降低其生物积累量。

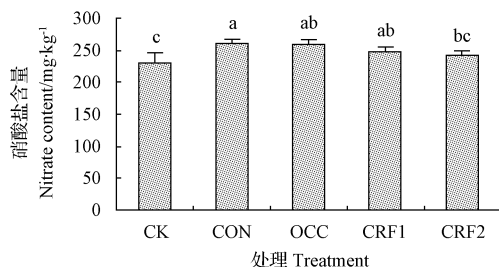


图 1 不同施氮处理对罗马花椰菜可食部分硝酸盐含量的影响

Fig. 1 Effects of different N application treatments on nitrate content of Romanesco Broccoli

2.3 不同施肥处理对土壤剖面无机氮分布影响

罗马花椰菜收获后,对 0~200 cm 土壤取样,由图 2

可知,CK 处理无机氮含量在整体剖面中均未超过 10 mg/kg,连续的种植作物的同时没有肥料的补充,土壤中无机氮已处于较低水平。CON 处理在 0~20 cm 范围内已接近 40 mg/kg,在 20~40 cm 范围内出现峰值,达到 65.09 mg/kg,在 40~80 cm 范围内呈逐渐下降趋势,但 80~140 cm 范围内又逐渐升高,这可能是由于连续多年高量施肥,土壤中累积的无机氮向下运移所致。OCC 处理在整个剖面中无机氮含量均较低,未超过 20 mg/kg,一方面是由于在罗马花椰菜生长季只施用了底肥,比正常施用无机肥量减少了 75%的氮肥,再加上作物吸收;另一方面是由于添加小麦秸秆后,大量有机碳进入土壤,增加了土壤 C/N 比,提高了土壤微生物活性,微生物活动旺盛,可能会固定一部分氮素使之以土壤微生物量氮形式存在,从而减少无机氮在土壤中的累积和淋溶。而 2 个控释肥处理的氮肥是作为底肥一次性施入的,无机氮投入量又相对较大,故残留量相对 OCC 处理较高,但在整体剖面中均未超过 24 mg/kg,明显小于 CON 处理,而 CON 处理施肥量小于控释肥处理,这可能是由于残留效应所致。

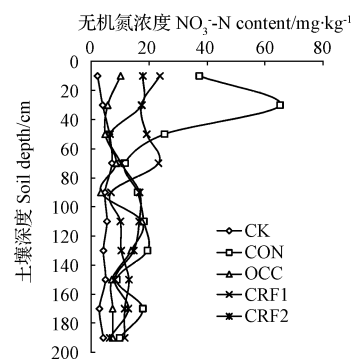


图 2 罗马花椰菜收获后 0~200 cm 土壤剖面无机氮含量

Fig. 2 Soil NO₃⁻-N content of 0~200 cm

2.4 不同施肥处理对土壤-罗马花椰菜氮平衡的影响

罗马花椰菜收获后根据土壤氮素输入项和输出项,运用差减法计算试验期内 0~60 cm 土壤-作物系统的氮素表观平衡。由表 5 可知,除 CK 处理外,起始无机氮是主要的输入项,占系统总氮素输入量的 45.16%~66.36%,

其次是化肥氮投入和土壤净矿化氮量,由灌溉水带入氮所占比例较少,仅占总氮素输入量的 0.68%~0.83%。罗马花椰菜生育期内氮素净矿化量与播前土壤 N_{\min} 之和高达 175.64~631.68 kg/hm²,已经远远超过了当季作物地上部对氮素的需求(146.11~168.78 kg/hm²)。OCC 处理起始无机氮为 237.98 kg/hm²,明显小于其余施肥处理,这是因为前茬种植填闲作物甜玉米,吸收了土壤中的部分氮素,减小了其在土壤中的累积残留,增加了氮素利用率,同时使系统整体氮素输入量变小,进而减小土体中氮素表观损失。系统输出项中,除 CON 外,所有处理土壤残留 N_{\min} 均处于次要地位,说明减少氮肥施用及施用控释肥料能有效的降低土壤无机氮残留。各施肥处理的氮素盈余在 354.69~651.50 kg/hm² 之间,CON 处理氮盈余现象最为明显,达 651.50 kg/hm²,其次是 2 个控释肥处理分别为 510.89 和 442.99 kg/hm²,OCC 处理盈余量较小,为 354.69 kg/hm²。

表 5 土壤-罗马花椰菜生长系统氮素表观平衡

Table 5 Apparent N balance of soil-Romanesco Broccoli system

项目 Items	处理 Treatments				
	CK	CON	OCC	CRF1	CRF2
氮输入 Nitrogen input					
起始无机氮 N_{\min} before seeding	88.31	544.35	237.98	305.06	308.39
有机肥施氮量 Organic N	0.00	75.00	75.00	75.00	75.00
秸秆带入氮 Nitrogen in the straw	0.00	0.00	46.50	0.00	0.00
化肥施氮量 Chemical fertilizer N	0.00	108.00	67.50	202.50	135.00
土壤矿化氮 Mineralized nitrogen	87.33	87.33	87.33	87.33	87.33
灌溉水带入氮 Nitrogen of the irrigation water	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60
总输入 Total input	181.24	820.28	519.91	675.49	611.32
氮输出 Nitrogen output					
作物吸收 Crop uptake	146.11	168.78	165.22	164.60	168.33
残留无机氮 N_{\min} residue after harvest	35.13	350.23	56.30	164.22	114.02
总输出 Total output	181.24	519.01	221.52	328.82	282.35
表观损失 Apparent output	0.00	301.27	298.39	346.67	328.97
氮盈余 Nitrogen surplus	35.13	651.50	354.69	510.89	442.99

3 结论与讨论

设施蔬菜栽培是高投入高产出的集约化种植模式,长期的肥料大量投入,对蔬菜的产量、品质及土壤环境质量造成了很大影响。在该试验条件下,种植当季,各施肥处理较对照均有显著地增产效果,增产幅度为 14.75%~21.54%,但各施肥处理间可食部分和茎叶产量差异都不显著,说明适当、合理地减量施肥不会显著降低罗马花椰菜可食部分产量从而不影响其经济效益。赵营等^[8]研究表明,施氮促进了作物地上部对养分的吸收,而传统施肥和推荐施肥间养分吸收无显著差异,该研究也得出相似结果。一般来说,减少施氮量能够增加氮素利用率,试验表明,各处理氮肥利用率顺序为 CON>CRF2>OCC>CRF1。有研究表明,温室罗马花椰菜表观氮肥利用率能够达到 20%以上^[9],该试验在计

算肥料利用率时,将有机肥养分全部计入肥料输入中,因此,可能高估了有机肥氮素输入量而低估了肥料利用率,即使如此,罗马花椰菜的当季氮肥利用率最高仅为 12.38%。

硝酸盐含量高低与人体健康有十分密切的关系。一般认为,人体摄入的硝酸盐 81%以上来源于蔬菜^[10],因此,硝酸盐含量是衡量蔬菜品质的重要指标。许多研究表明,降低蔬菜硝酸盐水平的根本途径是降低蔬菜生产的氮肥投入量^[11]。该试验结果表明,各处理罗马花椰菜可食部硝酸盐含量均未超过《农产品安全质量——无公害蔬菜安全要求》中对硝酸盐含量的限量规定(瓜果类≤600 mg/kg)^[12],但是 CON 处理在当季无机氮肥施用量 108 kg/hm² 的情况下果实硝酸盐含量为 260.33 mg/kg,虽然没有超过标准,但是随着时间的延长大量氮肥的施用,其结果可能造成果实硝酸盐的超标,对人体健康造成威胁。

氮肥合理施用与否,除了考虑到氮肥的增产效应和氮肥利用率外,还应考虑土壤残留无机氮的高低,欧盟许多国家都要求 0~90 cm 土体中残留的硝态氮低于 45 kg/hm² 或无机氮(N_{\min})不高于 50 kg/hm²^[13]。大多数蔬菜作物因其根系分布相对较浅,故目前很多的蔬菜氮素推荐系统都将 0~60 cm 土层定义为蔬菜可有效利用氮素的土壤层次,而将游离于 0~60 cm 土层-地上部蔬菜体系之外的氮素认为是“损失”掉了。罗马花椰菜收获后 0~60 cm 土层中各施氮处理残留的无机氮在 56.30~350.23 kg/hm²,均已超出国外 50 kg/hm² 的环境可承受值。土壤中较高残留的无机氮随着下一季肥料的施入和灌溉的增加,极易淋溶到下层土壤,甚至会淋溶到地下水中,从而对地下水的水质造成严重污染^[14]。该试验在减施无机氮肥结合添加秸秆后明显降低了土体无机氮的累积。一般认为^[15],高 C/N 秸秆的还田会引起土壤微生物大量活动,导致矿质态氮转化为固持态,但还有人认为秸秆还田能增大地面覆盖,减少地面蒸发,对氮素淋失的影响更大^[16]。该试验中秸秆是以粉碎形式加入同时翻耕进入土壤中的,因而不会出现上述情况。控释肥具有养分释放慢,肥效长,释放规律与作物生长需肥特点相符等特点,因此,施用控释肥在提高肥料利用率、节约肥料用量、提高作物产量、改善作物品质和减少环境污染等方面有着重要的作用^[17-19]。该试验中,罗马花椰菜收获后 2 个控释肥处理 0~60 cm 土体中无机氮的累积量分别为 164.22 和 114.02 kg/hm²,远低于 CON 处理。

有研究表明,施氮量较低时土壤残留氮保持在较低水平,氮肥表观损失量也很低,而施氮量过多土壤中氮素残留量和氮损失量均显著增加^[13,20]。该试验中,各施肥处理表观损失量随着化肥氮量的增加而增加,但是对

于 0~60 cm 土壤无机氮残留量来讲,虽然 CON 处理施氮量不是最高的,其残留量却最高,这可能是因为长期高量施肥的累积效应所致。其余 3 个施肥处理土壤无机氮累积量则随着化肥氮量的增加而增加。

肥料种类的选择及施肥量的控制是蔬菜肥料应用中一项非常重要的工作。通过该研究可以明确,农民习惯的施肥量在蔬菜硝酸盐累积以及土壤中过多养分累积等方面有不利的影响,而通过减量施氮及缓控释肥的应用可以在不显著影响产量的情况下缓解常规施肥所带来的上述负面效应。这些结果为保护地栽培的协调和可持续发展提供了科学依据,而氮素化肥作为一项重要的肥源,在保护地条件下如何充分合理的利用仍将成为今后研究的一个重点。

参考文献

- [1] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤,2008,45(2):296-303.
- [2] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等. 山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J]. 土壤通报,2002,33(2):126-128.
- [3] 马文奇,毛达如,张福锁. 山东省蔬菜大棚养分积累现状[J]. 磷肥与复肥,2000,15(3):65-67.
- [4] 范庆峰,张玉龙,陈重. 保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及 pH 值的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(1):103-106.
- [5] 刘宏斌,张云贵,李志宏,等. 北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况研究[J]. 土壤学报,2005,42(3):411-418.
- [6] Neeteson J J, Booi R, Whitmore A P. A review on sustainable nitrogen management in intensive vegetable production systems [J]. Acta Hort, 1999, 506:17-26.
- [7] 闵炬,施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1):151-157.
- [8] 赵营,张学军,罗健航,等. 施肥对设施番茄-黄瓜养分利用与土壤氮素淋失的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(2):374-383.
- [9] 吴建新. 施肥对保护地土壤硝态氮分布及氮平衡的影响研究[D]. 保定:河北农业大学,2010.
- [10] 熊国华,林咸永,章永松,等. 施肥对蔬菜累积硝酸盐影响的研究进展[J]. 土壤通报,2004,35(2):217-221.
- [11] 高强,巨晓棠,张福锁. 几种新型氮肥对叶菜硝酸盐累积和土壤硝态氮淋洗的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(1):9-13.
- [12] 李邵,薛绪掌,郭文善,等. 供水吸力对温室盆栽黄瓜产量与品质的影响[J]. 园艺学报,2010,37(8):1339-1344.
- [13] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠,等. 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 生态学报,2002,22(7):1122-1128.
- [14] 陈宝明. 施氮对植物生长、硝态氮累积及土壤硝态氮残留的影响[J]. 生态环境,2006,15(3):630-632.
- [15] 吴雪玲,左强,吴建新,等. 保护地菜田土壤氮素淋溶阻控措施及其效果研究[J]. 水土保持学报,2011,25(3):59-62.
- [16] Shepherd M, Bhogal A. Regular applications of poultry litter to a sandy arable soil: effects on nitrate leaching and nitrogen balance[J]. J Sci Food Agric, 1998, 78(1):19-29.
- [17] 邵蕾,王丽霞,张民,等. 控释肥类型及氮素水平对氮磷钾利用率的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(4):170-175.
- [18] 王小明,谢迎新,张亚楠,等. 新型肥料施用对玉米季土壤硝态氮累积的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(5):232-236.
- [19] 衣文平,孙哲,武良,等. 包膜控释尿素与普通尿素配施对冬小麦生长发育及土壤硝态氮的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(3):687-693.
- [20] 刘学军,巨晓棠,张福锁. 减量施氮对冬小麦-夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(3):458-462.

(该文作者还有张琳,单位北京市农林科学院植物营养与资源研究所。)

Effect of Different Fertilizer Application Countermeasures on Yield, Quality of Romanesco Broccoli and Nitrogen Balance

DUN Hui-ning^{1,2}, WU Jian-xin², ZUO Qiang², XUE Shi-chuan¹, ZOU Guo-yuan², GU Jia-lin², ZHANG Lin²

(1. College of Resource and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097)

Abstract: Field experiment was conducted in greenhouse in the suburb of Beijing to determine the effect of different fertilizer application countermeasures (conventional fertilization, optimized fertilization with catch crop and C/N ratio, control-released fertilizer) on yield and quality of Romanesco Broccoli, and the soil nitrate content and apparent N balance of Soil-Romanesco Broccoli system were analyzed. The results showed that different fertilizer application countermeasures increased yield by 14.75%~21.54%, and N uptake by 12.65%~15.51%. The nitrate content of Romanesco Broccoli edible department between different fertilizer processing were followed by CON>OCC>CRF1>CRF2. After Romanesco Broccoli harvested, N_{min} contents in the soil profile (0~200 cm) were: CON>CRF1>CRF2>OCC>CK. Contract with CON, optimized fertilization with catch crop and C/N ratio and applying control-released fertilizer decreased N_{min} accumulation and reduced N surplus of soil-plant system by 45.17%, 21.40% and 31.73%, respectively. Some effective methods, such as reducing nitrogen rate, nitrogen-catch crop, C/N ratio and control-released fertilizer application, were put forward to reduce nitrogen leaching and improve use efficiency.

Key words: Romanesco Broccoli; control-released fertilizer; yield; nitrate; N balance