

## 施氮水平对冷地早熟禾 (*Poa crymophila*) 产量和营养成分含量的影响\*

车敦仁

戴国荣

(青海省畜牧兽医科学院草原研究所) (青海省铁卜加草原改良试验站)

氮是构成植物蛋白质的主要成分,也是叶绿素的组成成分,植物的酶、核酸、磷脂以及许多维生素中都含有氮。因而,氮是生产优质高产饲草的一种极其重要的元素。禾本科饲草没有根瘤,不具固氮能力,完全依靠根系从土壤中吸收来维持其生长发育所需要的氮素。而土壤中可利用氮的含量总是不能满足禾本科饲草高产和优质的需要(Rhykerd 等, 1974)。青藏高原土壤中有机态氮的含量较高,但因气候寒冷、干旱,使土壤微生物活动弱,有机质分解速度慢等因素的限制,速效养分的供应仍然不能满足牧草迅速生长的需要(左克成等, 1980)。土壤中速效氮的缺乏,常常限制了禾本科牧草的生长发育和产量。因而,在禾草生长旺季,以施肥的形式给土壤中补充可供利用的速效氮,是获得优质高产的重要措施之一。

在畜牧业发达国家,草地施肥非常普遍,已成为草地集约化经营的基本特征之一。有关施氮对禾本科牧草(以下称禾草)干物质产量和营养成分的影响,在国外研究很多,作者(1982)曾作过较全面的简要讨论。近年来国内也开始重视牧草施肥的研究工作,已有一些报道(李建东等, 1981;张松林等, 1986)。但有关施氮水平对栽培禾草产量和营养成分含量影响的专题研究报道不多。为探讨青海高寒牧区常见栽培禾草的产量和营养成分含量与供氮水平的关系,给人工草地合理施肥提供依据,我们于 1980—1986 年期间,先后在青海省不同地区,选用不同种类的禾草进行了该项试验研究,部分资料已经发表(车敦仁, 1987a, 1987b)。现再就冷地早熟禾加以报道。

### 一、试验地区自然概况

本试验于 1984—1986 年在青海湖西端的青海省铁卜加草原改良试验站进行。该站位于北纬 37°05', 东经 99°35', 海拔 3 270 米。属高原大陆性气候,无明显四季之分。冷季漫长、寒冷干燥,长达 7 个月之久;暖季较短,凉爽微润;年均温 -0.7°C, 1 月最冷,月均温 -14°C, 7 月份最暖,月均温 11°C。终霜 6 月初,早霜 8 月初,无绝对无霜期。年均降水量

\* 牧草和土壤分析工作由青海省畜牧科学院草原研究所分析室晋德馨等同志担任,特此致谢。  
本文 1987 年 9 月 30 日收到。

393.5 毫米,通常集中在6—9月。土壤为暗栗钙土,pH7.8—8.2,土层厚50—100厘米。据1984年6月15日取样实测结果:0—18厘米土层内含有有机质5.6%;全氮0.371%,水解氮177ppm,铵态氮2.3ppm,硝态氮5ppm;全磷0.158%,速效磷13ppm;全钾2.44%,速效钾163ppm。可见该地区土壤中钾的供应丰富,而速效氮磷供应不足。

## 二、材料和方法

**试验材料:**对冷地早熟禾的研究方法,按不同的研究内容和目的分:

1. 氮肥和磷肥对产量的影响。试验采用2因子3水平全组合试验方案,分9个处理,即  $N_0P_0$  (对照)、 $N_0P_{37.5}$ 、 $N_0P_{75}$ 、 $P_0N_{37.5}$ 、 $P_0N_{75}$ 、 $N_{37.5}P_{37.5}$ 、 $N_{37.5}P_{75}$ 、 $N_{75}P_{37.5}$  和  $N_{75}P_{75}$  (N、P 表示氮肥和磷肥,右下角数字表示施肥量,氮为纯氮量,磷为  $P_2O_5$  量,单位公斤/公顷,下同)。

2. 施氮水平对产量和营养成分含量的影响。试验采用单因子试验方案,施氮量分:0, 37.5, 75, 112.5, 150 和 225 公斤/公顷,施磷量统一为75公斤/公顷。

供试肥料:尿素(日本进口),含氮量46%;三料过磷酸钙(墨西哥产),含  $P_2O_5$  46%。

田间设计均采用3米×6米=18平方米的小区面积,随机区组排列,4次重复。旱作,小区之间不打埂。条播,行距30厘米。1984年4月30日播种,当年只进行田管,不作任何处理。在冷地早熟禾生长第2年(1985)返青后分蘖期进行施肥处理,均采用在行间沟施覆土的方法。第3年不再施肥,继续观察测产。

**测产和取样:**在牧草开花期刈割测产,留茬高度5厘米。为克服边际效应的影响,各小区均除掉边行和两头50厘米,以中间部分的面积计产。同时,在每个处理的四次重复中均匀取牧草鲜样250克,共1000克。风干后采用常规分析法测定其营养成分含量。

## 三、结果与分析

### (一) 氮肥和磷肥对产草量的影响(表1)

表1 氮肥和磷肥对产草量的影响

Table 1 Effects of nitrogen fertilizer and phosphate fertilizer on herbage production.

干草,公斤/公顷 (Hay, kg/ha)

编号 No.	处理 Treatment	1985年 (Year)		1986年 (Year)		两年合计 Total over a two-year period			增产1公斤 干草的肥料 成本(元) Fertilizer cost of increasing 1kg hay (yuan)*
		产草量 Yield	增产量 Increased yield	产草量 Yield	增产量 Increased yield	产草量 Yield	增产量 Increased yield	次第 Order	
1	$N_0P_0$ (CK)	1967	0	2750	0	4714	0		
2	$N_0P_{37.5}$	2513	546	3656	906	6169	1452	8	0.0326
3	$N_0P_{75}$	2889	922	4326	1576	7215	2498	6	0.0379
4	$P_0N_{37.5}$	2835	868	3973	1223	6808	2091	7	0.0199
5	$P_0N_{75}$	3029	1062	6001	3251	9030	4313	3	0.0193
6	$N_{37.5}P_{37.5}$	3218	1251	4882	2132	8100	3383	4	0.0263
7	$N_{37.5}P_{75}$	3178	1211	4677	1927	7855	3138	5	0.0434
8	$N_{75}P_{37.5}$	3123	1156	6744	3994	9867	5150	2	0.0242
9	$N_{75}P_{75}$	3463	1496	6796	4046	10260	5543	1	0.0321

\* 肥料价格:尿素510元/吨,三料过磷酸钙580元/吨。

fertilizer price: Urea 510yuan/t., Double superphosphate 580yuan/t.

1. 表 1 中 2, 3, 4, 5 号处理表明: 施氮的增产效应高于施磷; 还表明在单独施氮和单独施磷的情况下, 增产效应均随施肥水平的提高而增加。

2. 表 1 中 6, 7, 8, 9 号处理表明: 在氮磷合施的情况下, 将施磷量分别固定在 37.5 和 75 公斤的水平上, 改变施氮水平时, 增产量均随施氮水平的提高而增加, 即施氮水平的增产效应不依赖施磷水平的高低而转移; 但将施氮量分别固定在 37.5 和 75 公斤的水平上, 改变施磷水平时, 增产量并非都随施磷水平的提高而增加, 即施磷水平的增产效应依赖于施氮水平的高低。例如, 施氮 37.5 公斤时, 也应施磷 37.5 公斤为好, 如果多施到 75 公斤磷肥时, 产量也不会进一步提高; 但当施氮水平提高到 75 公斤时, 仅施 37.5 公斤磷肥是不够的, 应多施磷肥, 产量才能进一步提高。

3. 施肥的经济效益: 因肥料种类和施用量不同而异, 施氮肥高于施磷肥的效益, 尤以每公顷施氮 75 公斤效益最好。氮磷合施时, 增产单位干草的肥料成本随氮比例的提高而降低, 随磷比例的提高而增加。但无论施氮或施磷, 单施或合施, 每增产 1 公斤干草的肥料成本费均在 0.043 元以下, 这在经济上都是合算的。

## (二) 施氮水平对产草量和营养成分含量的影响

### 1. 施氮水平对产草量的影响(表 2):

表 2 施氮水平对冷地早熟禾产草量的影响(公斤/公顷)  
Table 2 Effects of different N rates on herbage production of *Poa crymophila*. (kg/ha)

草地年龄 Grassland age	年份 Year	2			3			两年合计 Total over a two-year period		
		1985年(施氮) (Applied N)			1986年(未施氮) (No applied N)			产草量 Yield	增产量 Increase yield	增产率(%) Increase rate(%)
		产草量 Yield	增产量 Increase yield	增产率(%) Increase rate(%)	产草量 Yield	增产量 Increase yield	增产率(%) Increase rate(%)			
施氮水平 Applied N rates	0(CK)	2 279			2 750			5 029		
	37.5	2 705	426	18.7	4 093	1343	48.8	6 798	1769	35.2
	75.0	3 108	829	36.4	5 323	2573	93.6	8 431	3402	67.6
	112.5	3 316	1037	45.5	6 317	3567	129.7	9 633	4604	91.5
	150.0	3 460	1181	51.8	6 573	3823	139.0	10 033	5004	99.5
	225.0	3 002	723	31.7	7 171	4421	160.8	10 173	5144	102.3

(1) 两年合计产草量随着施氮水平的提高而提高。

(2) 施氮后第 2 年 (1986) 3 龄草地的增产量和增产率均大大高于施氮当年 (1985) 2 龄草地。

(3) 当每公顷施氮量高达 225 公斤时, 施氮当年产草量反而较施氮 150 公斤时低, 但到第 2 年的产草量却最高。

以上结果与 3 种因素有关: (1) 1986 年生长季节、特别是 7, 8 月份的降雨量高于 1985 年同期。(2) 由表 2 对照可看出, 3 龄冷地早熟禾的产量高于 2 龄, 因而 3 龄草地对土壤养分的利用较 2 龄更充分。(3) 该地区由于低温的影响, 土壤微生物活动较弱, 当施氮水平较高时, 施氮当年氮素回收率很低(表 3), 施入土壤中的氮, 只有一少部分被牧草吸收利用, 大部分氮仍保留在土壤中并转存到下一年供植物吸收利用。在施氮水平较高时, 尤其

表3 施氮当年冷地早熟禾的产草量和氮素回收率

Table 3 The yield and recovery of N in that year applied N in *Poa crymophila*.

施氮水平(公斤/公顷) Applied N rates (kg/ha)	干草产量(公斤/公顷) Hay yield (kg/ha)	收获牧草中带走的氮量 (公斤/公顷) Removed N(kg/ha)	氮素表现回收率(%) Apparent recovery of N(%)
0	2279	36.1	
37.5	2705	49.6	36.0
75.0	3108	67.1	41.3
112.5	3316	72.2	32.1
150.0	3460	75.9	26.5
225.0	3002	61.6	11.3

如此。

2. 施氮水平与增产量关系的分析:令  $Y$  代表增产量;  $x$  代表施氮水平;  $y\left(=\frac{Y}{x}\right)$  为在某一施氮水平下单位氮素 (1 公斤) 的增产量;  $\frac{1}{y}\left(=\frac{x}{Y}\right)$  为在某一施氮水平下每增产一个单位干草的耗氮量。冷地早熟禾施氮当年和第 2 年累计上述各值列于表 4。

表4 施氮当年和施氮后连续 2 年期间累计  $Y$ 、 $y$  和  $\frac{1}{y}$  值

Table 4 The value of  $Y$ ,  $y$  and  $\frac{1}{y}$  in this year and over a two-year period after applied N.

施氮水平 (公斤/公顷) Applied N rates (kg/ha) $x$	施氮当年(1985) In the first year			两年合计(1985+1986) Total over a two-year period		
	$Y_1$	$y_1 = \frac{Y_1}{x}$	$\frac{1}{y_1} = \frac{x}{Y_1}$	$Y_2$	$y_2 = \frac{Y_2}{x}$	$\frac{1}{y_2} = \frac{x}{Y_2}$
37.5	426	11.33	0.0882	1769	47.2	0.0212
75.0	829	11.05	0.0905	3402	45.4	0.02205
112.5	1037	9.22	0.1085	4604	40.9	0.02444
150.0	1180	7.87	0.1271	5004	33.4	0.02999
225.5	723	3.21	0.3110	5144	22.9	0.04374

(1) 施氮当年的增产量( $Y_1$ )和施氮水平( $x$ )的数量关系: 表 4 第 4 列值表明,  $\frac{1}{y_1}$  随  $x$

的增加而增大,但增大的速率不与  $x$  同步。当  $x \leq 112.5$  公斤时,  $\frac{1}{y_1}$  随  $x$  的增大而增加的

幅度较小(0.0882—0.1085),但当施氮水平  $x \geq 150$  公斤时,  $\frac{1}{y_1}$  值随  $x$  的增加而增加,其

幅度变大,这是符合肥料报酬递减率原理的。我们可以用  $\frac{1}{y_1} = a + bx^c$  来表示二者之间

的相关性。式中的  $c$  是用以表示在高水平施氮量下,  $\frac{1}{y_1}$  值增加速率变大的程度。

用定点法(张启人,1959)先估得上式中的  $a = 0.088$ ,然后将上式线性化,并求出相

关系数:  $r_{lg y' \cdot lg x} = 0.997\left(y' = \frac{1}{y_1} - a\right)$ ,达极显著水准,这表明用上式来描述  $\frac{1}{y_1}$  与  $x$  之

间的数量关系是正确的。

进而求得：

$$\hat{b} = 1.265 \times 10^{-10}$$

$$\hat{c} = 3.933$$

故

$$\frac{1}{y_1} = 0.088 + 1.265 \times 10^{-10} x^{3.933} \quad (1)$$

则

$$\hat{y}_1 = \frac{1}{0.088 + 1.265 \times 10^{-10} x^{3.933}} \quad (2)$$

由于

$$y_1 = \frac{Y_1}{x}$$

所以

$$\hat{Y}_1 = \frac{x}{0.088 + 1.265 \times 10^{-10} x^{3.933}} \quad (3)$$

(1)、(2)、(3)式的曲线见图 1。

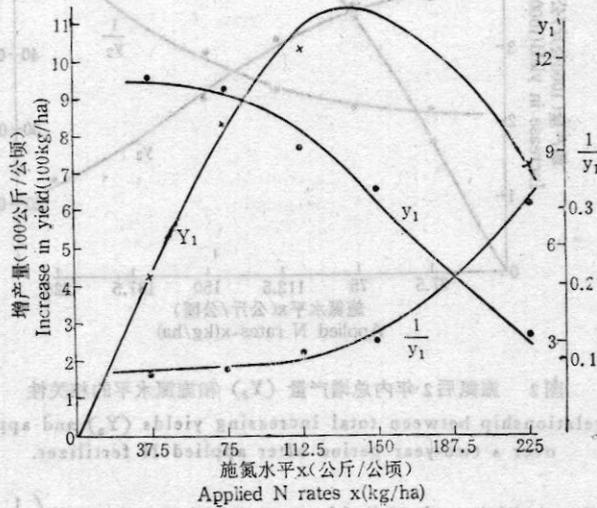


图 1 施氮当年的增产量 ( $Y_1$ ) 和施氮水平的相关性

Fig.1 The relationship between increasing yields ( $Y_1$ ) and applied N rates ( $x$ ) in the year applied N fertilizer.

(2) 两年合计增产量 ( $Y_2$ ) 与施氮水平 ( $x$ ) 的数量关系：将表 4 中的  $\frac{1}{y_1}$  和  $\frac{1}{y_2}$  的值

比较,可以看出二者都是随  $x$  的增加而增加,只是增加的程度和速率不同。因而,我们同样用  $\frac{1}{y_2} = a + bx^c$  来表示  $x$  与  $\frac{1}{y_2}$  的关系,并用定点法先求出式中的  $a = 0.021$ ,然后将上式

线性化,并求得相关系数:  $r_{\lg y' \cdot \lg x} = 0.998 \left( y' = \frac{1}{y_2} - a \right)$ ,达极显著水准,表明用该式表

达  $x$  与  $\frac{1}{y_2}$  的数量关系也是正确的。

进而求得

$$\hat{b} = 1.06 \times 10^{-8}$$

$$\hat{c} = 2.697$$

故 
$$\frac{1}{y_2} = 0.021 + 1.06 \times 10^{-8} x^{2.697} \quad (4)$$

则 
$$\hat{y}_2 = \frac{1}{0.021 + 1.06 \times 10^{-8} x^{2.697}} \quad (5)$$

由于 
$$y_2 = \frac{Y_2}{x}$$

所以 
$$\hat{Y}_2 = \frac{x}{0.021 + 1.06 \times 10^{-8} x^{2.697}} \quad (6)$$

(4)、(5)、(6)式的曲线见图 2。

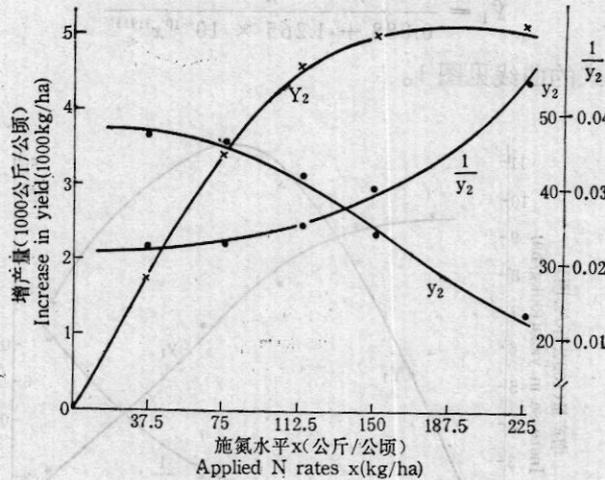


图 2 施氮后 2 年内总增产量 ( $Y_2$ ) 和施氮水平的相关性

Fig.2 The relationship between total increasing yields ( $Y_2$ ) and applied rates over a two-year period after applied N fertilizer.

图 1 和图 2 表明：每增产一个单位(如 1 公斤)干草的耗氮量( $\frac{1}{y_1}$ 和 $\frac{1}{y_2}$ )随施氮水平的

提高而增大,单位氮素的干草增产量 ( $y_1$  和  $y_2$ ) 随施氮水平的提高而降低。其增大和降低的速率相一致。因而经济合理的施氮量应掌握在 75—112 公斤/公顷之间。在目前我国化肥供应短缺且价格昂贵的情况下,以掌握在 75 公斤/公顷更为适宜。尽管进一步提高施氮水平仍能继续增加产量,但施肥的产出/投入比值却下降明显,这在经济上是不合算的。

如欲利用(3)式和(6)式求得在不同施氮水平下,单位面积上的实际干草产量时,在(3)或(6)式中加入对照的干草产量即可得之。

3. 施氮水平对营养成分含量的影响: 表 5 表明,牧草中粗蛋白质含量随着施氮水平的提高而增加。当每公顷施氮 37.5—75 公斤时,增加幅度较大,随着施氮水平的进一步提高,牧草中粗蛋白质含量增加的幅度变小。当施氮量高达 225 公斤/公顷时,粗蛋白质含量反而降低。这与干草增产量随施氮水平而变化的规律相吻合。牧草中的无氮浸出物含量因施氮水平而变,但变化的规律正好与粗蛋白质含量相反,即随施氮水平的提高而降低。牧草中粗纤维、粗脂肪、粗灰分以及钙和磷的含量较稳定,且无明显变化规律,说明施

氮水平对它们的含量影响不大。

表5 施氮水平对冷地早熟禾营养成分含量的影响(%干物质)  
Table 5 Effects of different N rates on nutrient composition in *Poa crymophila*.  
(%dry matter)

施氮水平(公斤/公顷) Applied N rates (kg/ha)	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗纤维 CF	无氮浸出物 NFE	粗灰分 CA	钙 Ca	磷 P
0 (CK)	10.58	2.76	37.39	45.01	4.26	0.17	0.177
37.5	12.07	2.66	37.34	43.73	4.20	0.18	0.163
75.0	14.38	2.75	36.59	41.65	4.63	0.20	0.171
112.5	14.55	2.80	38.08	40.34	4.23	0.17	0.162
150.0	14.65	2.70	37.23	40.84	4.58	0.19	0.168
225.0	13.67	2.82	36.90	42.19	4.42	0.18	0.154

#### 四、讨 论

将本文结果同我省其他地区和其他禾草种类相比较,可以看出:在生长季越长的地区以及产草量越高的种类,禾草对氮素的需要量就越大。如铁卜加地区栽培的冷地早熟禾(为产量较低的矮禾草)在施肥当年,获得最高产量所需的施氮量约为150公斤/公顷,再多施氮产量反而下降。与同德县巴滩地区种植的星星草(*Puccinellia tenuiflora*)(矮禾草)对施氮量的反应相似;而与其同一块试验田里栽培的高禾草类(老芒麦 *Elymus sibiricus*)的最高产量所需的施氮量(225公斤/公顷)相比要低一些。与共和县切吉地区种植的高禾草类(无芒雀麦 *Bromus inermis*)的最高产量所需的施氮量(约300公斤/公顷)相比低一倍。

铁卜加高寒的气候条件在限制了牧草高产的同时,也限制了牧草对氮素的利用。文中冷地早熟禾对照区氮的带走量为36.1公斤/(公顷·年)较栽培在共和县切吉地区的无芒雀麦[138.2公斤/(公顷·年)]为低,即矮禾草比高禾草每年带走的氮为少。尽管如此,但在铁卜加地区单位施氮量能获得的最大干草增产量与其他地区相似,即当施氮水平适当时,在不同地区,施用每公斤氮均可增产约40公斤左右的干草。只是在类似铁卜加这样的高寒地区需要经过连续两个生长年才能达到,而在较暖地区,施氮当年即可获得。这一点在高寒地区牧草施肥实践中需要认真考虑和对待。

#### 参 考 文 献

- 车敦仁,1982,禾草施氮,中国草原,(4): 1—10。  
 车敦仁、郎百宁、王大明、安民、韩志林、陆家宝,1987a,施氮水平对无芒雀麦产量和营养成分含量的影响(I),中国草业科学,4(3): 23—30。  
 车敦仁、郎百宁、王大明、韩志林、陆家宝、安民,1987b,施氮水平对无芒雀麦产量和营养成分含量的影响(II),中国草业科学,4(5): 11—16。  
 李建东、刘建新,1981,羊草草原施用氮肥的研究初报,中国草原,(3): 58—59。  
 张松林、周兴民,1986,施肥对矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸草场地上生物量的影响,高原生物学集刊,(5): 7—11。  
 张启人,1959,测定值计算基础,科学出版社。  
 Rhykerd, C.L. et al., 1974, The Role of Nitrogen in Forage Production. In Forages/The Science of Grassland Agriculture, 11ed USA 416。

# EFFECTS OF DIFFERENT NITROGEN RATES ON HERBAGE PRODUCTION AND NUTRIENT COMPOSITION OF *POA CRYMOPHILA*

Che Dunren

(Grassland Institute, Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science)

Dai Guorong

(Tiebuja Experiment Station of Grassland Improvement, Qinghai Province)

The experiment was carried out at Tiebuja Experiment Station of Grassland Improvement, Qinghai Province, from 1984 to 1986. Nitrogen was applied at the rates of 0(CK), 37.5, 75, 112.5, 150 and 225kg/ha. Situated on the west of Qinghai Lake, the altitude of plots was 3270 m above sea level, mean annual temperature being  $-0.7^{\circ}\text{C}$ , and mean annual precipitation 393.5mm. The soil was dark chestnut one, pH7.8—8.2. As the climate was cold and drought, the mineralization process in the soil was weaker, soil having a low available nutrient. Especially the available N was poor and was not sufficient for the growth of grasses, therefore, applied N fertilizer to the soil could increase their yield and content of crude protein considerably.

The experimental results showed as follows:

(1) Nitrogen fertilizer is cheaper and has higher yield than those of phosphate fertilizer.

(2) In that year applied N fertilizer, the relationship between increasing yield ( $Y_1$ ) and applied N rates ( $x$ ) was  $\hat{Y}_1 = \frac{x}{0.088 + 1.265 \times 10^{-10} x^{3.933}}$ . Over a two-year period after the application of N fertilizer, the relationship between total increasing yield ( $Y_2$ ) and  $x$  was  $\hat{Y}_2 = \frac{x}{0.021 + 1.06 \times 10^{-8} x^{2.697}}$ .

(3) Either in the first year (1985) or over a two-year period (1985 and 1986), the average yield ( $\frac{Y_1}{x}$  or  $\frac{\hat{Y}_2}{x}$ ) increased by each unit N (e.g. 1kg) was declined with the increase of applied N rates, but then the average quantity ( $\frac{x}{Y_1}$  or  $\frac{x}{\hat{Y}_2}$ ) of N required for getting each unit yield (e.g. 1kg) increased with the raising of applied N rates.

(4) In the area the applied N that was not utilized by plant in the first year might remain in the soil and became available in the next year.

(5) The content of crude protein in dry matter increased with the raising of applied N rates, but the content of nitrogen-free extract declined with the increase of applied N rates, while applied N rates had no obviously effect on crude fat, crude fibre, ash and its Ca and P.